Beitrag zur Bestimmung des Düngebedürfnisses eines Bodens vermittels Pflanzen- und Bodenanalyse

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
hohen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität
zu Göttingen

Vorgelegt von Wilhelm Lange
aus Gablonz a. d. Neiße, Böhmen.

Göttingen 1925

Beitrag zur Bestimmung des Düngebedürfnisses eines Bodens vermittels Pflanzen- und Bodenanalyse

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der
hohen mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität
zu Göttingen

Vorgelegt von Wilhelm Lange
aus Gablonz a. d. Neiße, Böhmen.

Göttingen 1925

Vorliegende Arbeit entstand im agrikulturchemischen und bodenkundlichen Institut der Universität Göttingen. Zur Durchführung der Gefäßversuche, desgleichen der chemischen und mechanischen Bodenanalysen wurden mir von den Herren Oekonomierat Cassel, Rosdorf; Freiherrn von Oldershausen, Göttingen; Oberamtmann Lohmann, Weende; Stadt-Gutspächter Geiger, Geismar und Oberamtmann Schlote, Reinhausen, in liebenswürdiger Weise Bodenproben zur Verfügung gestellt, wofür ich den genannten Herren herzlichst danke.

In stets fürsorglicher und nachsichtiger Weise wurde ich jedoch von meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Blanck, Direktor des agrikulturchemischen und bodenkundlichen Instituts der Georg-August-Universität zu Göttingen, unterrichtet und unterstützt. Es sei mir gestattet, für diese Hilfe und Unterweisung meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Göttingen, im Mai 1925.

Referent: Herr Prof. Dr. Blanck.

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Juli 1925.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Druck von G. Reichardt, Groitzsch (Bez. Leipzig).

Herrn Franz Karsch
in Dankbarkeit
gewidmet.

Curriculum vitae.

Ich wurde am 25. Februar 1889 als Sohn des Privatbeamten Robert Lange zu Gablonz a. d. Neiße, Böhmen, geboren, besuchte bis zu meinem 10. Lebensjahre die Volksschule, hierauf während der Dauer von vier Jahren das Staatsrealgymnasium zu Gablonz a. d. N. und legte Sommer 1908 die Reifeprüfung an der k. k. Staatsrealschule zu Reichenberg ab.

Vom Wintersemester 1908—1913 studierte ich an der deutschen technischen Hochschule in Prag bezw. an der deutschen ldw. Akademie Tetschen-Liebwerd, von Oktober 1913 bis Ende 1918 diente ich beim Schützenregiment Nr. 9, nahm am Kriege teil und wurde nach dem Umsturz als Oberleutnant d. R. a. D. verabschiedet. Im Jahre 1919 bis Sommer 1920 war ich in der Praxis tätig und setzte hierauf meine Studien an der deutschen techn. Hochschule in Prag fort, die ich 1921 als Ingenieur verließ.

Mit Wintersemester 1921 bezog ich die Georg-August-Universität zu Göttingen, wo ich mich dem Studium der Agrikulturchemie widmete.

Göttingen, den 3. Mai 1925.

Wilhelm Lange.

7. Beiträge zur Bestimmung des Düngebedürfnisses eines Bodens vermittels Pflanzen- und Bodenanalyse.

Von Wilhelm **Lange.**[1])

Aus dem agrikulturchemischen und bodenkundlichen Institut der Universität Göttingen.

Bei der Untersuchung eines Bodens, des Trägers der für die Ernährung unserer Kulturpflanzen wichtigen Pflanzennährstoffe, ist es in chemischer Hinsicht nötig, die Mengen- und Löslichkeitsverhältnisse dieser Nährstoffe festzustellen, um auf Grund der gewonnenen Resultate eine möglichst einwandfreie Vorstellung über das Nährstoffkapital dieses Bodens zu erhalten. Zur Erreichung dieses Zieles wird neben der chemischen Boden- bezw. Pflanzenanalyse und der Feststellung biologischer Faktoren auch die mechanische Bodenuntersuchung durchgeführt.

Bezüglich der chemischen Bodenuntersuchung gibt es eine große Anzahl mehr oder weniger gut verwertbarer Bestimmungsmethoden: Man kennt Verfahren, welche die Verwendung konzentrierter Säuren vorschreiben, hauptsächlich der Salzsäure, mit welcher der Boden in bestimmtem Mengenverhältnis während einer festgesetzten Zeit kalt oder auf dem Wasserbade behandelt wird. Auf Grund der durch den Salzsäureauszug erhaltenen gewichtsprozentischen Bestandteile wird dann ein Schluß bezüglich der Düngebedürftigkeit beziehungsweise des Nährstoffvorrates des Bodens zu ziehen versucht. Durch diese Methode erhält man stets nur ungefähre Werte, auch müssen bei Beurteilung dieses Zahlenmaterials noch andere Faktoren berücksichtigt werden, oft sind diese Werte überhaupt nicht verwendbar. Auch auf das molekulare Verhältnis wurden diese gewichtsprozentischen Anteile umgerechnet, um zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen. So geht z. B. die von Ganssen[2]) ausgearbeitete Methode von diesem Gesichtspunkte aus. Diese Theorie soll bei den weiter unten zu besprechenden Versuchen einer näheren Charakteristik unterzogen werden. Häufiger als konzentrierte werden verdünnte Säuren, mineralischer und organischer Natur, verwendet, um die im Boden vorhandenen leicht löslichen und leicht aufnehmbaren Bestandteile zu bestimmen. In diesen Fällen wurden auch günstigere Resultate erzielt. Es handelt sich hier um die Bodenauszüge mit 1 und 10%iger Salzsäure,[3]) mit 0,1—1,5%iger Salpetersäure, welch letztere häufig von den Amerikanern angewendet wird, ferner werden 0,5%ige Oxalsäure, $^1/_2$, 1 und 2%ige Zitronensäure

---

[1]) Die Dissertation ist als Abhandlung in der Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung, Teil A, Bd. VI, 1925, Seite 193—228 zum Abdruck gelangt. Blanck.

[2]) Mitt. a. d. Labor. d. Preuß. geol. Landesanstalt, Berlin 1923, Heft 1.

[3]) Diese und die folgenden Angaben siehe König, Untersuchung ldw. und ldw. gewerblich wichtiger Stoffe, 5. Aufl., Bd. I, S. 68 usw.

oder 1, 2 und 5%ige Essigsäure als Lösungsmittel benutzt. Zur Gewinnung des Bodenauszuges werden auch eine 2%ige Ammonzitratlösung, desgleichen gesättigte und 10%ige Lösungen von Ammonchlorid herangezogen. Biéler-Chatelan[4]) verwendet kohlensäurehaltiges Wassers, auch Mitscherlich[5]) bestimmt bei seinen Untersuchungen die löslichen Bestandteile des Bodens mit Hilfe der Kohlensäure. Ebenso wurden Bodenauszüge mit reinem Wasser angestellt, ferner sollte durch Anwendung von Dämpfen unter starkem Druck[6]), durch Gleichstrom[7]), durch Dialyse nach Petermann und Friedeburg[8]) das erhoffte Ziel erreicht werden. Erwähnenswert sind auch die Auszüge, die E. Ramann[9]) und andere durch Auspressen und Cameron[10]) durch Abzentrifugieren des Bodens gewonnen haben.

Oft wurde auch versucht, die durch Pflanzenanalyse erhaltenen Werte für die Beurteilung der Fruchtbarkeit eines Bodens heranzuziehen, entweder wurden nur die oberirdischen Pflanzensubstanzen bezw. Teile derselben z. B. die Körner untersucht oder nur die produzierte Wurzelmasse, oder es wurde die gesamte Pflanzensubstanz für diese Zwecke verwendet. In dieser Hinsicht arbeitete nächst Weinhold[11]) und Hellriegel[12]) besonders A. Atterberg[13]), der Haferkörner analysierte und auf Grund des in den Körnern gefundenen Stickstoffs bezw. Phosphors Verhältniszahlen aufstellte, die einen Stickstoff bezw. Phosphorsäuremangel erkennen lassen sollten. R. Heinrich[14]) benutzte lediglich die Wurzelmasse zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit, eine später von Helmkampf[15]) und Stahl-Schröder[16]) widerlegte Ansicht. Zu einem gleich ungünstigen Ergebnis betreffs Verwendbarkeit der Pflanzenanalyse zur Beurteilung des Düngerbedürfnisses eines Bodens gelangten T. Pfeiffer und E. Blanck[17]), nach denen auch die Aufstellung von Normalgehaltszahlen keine genügende Möglichkeit bietet, um daraus einen Schluß auf den Nährstoffvorrat eines Bodens ziehen zu können. Greisenegger und Vorbuchner[18]) veröffentlichten 1918 ihre mit Gerste angestellten Mangelversuche, die sie derart durch-

---

[4]) Comptes rendus, Paris, 1910, 150, 716.
[5]) Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 3. Aufl., S. 201.
[6]) Ldw. V. St. 1907, 66, 491.
[7]) Ldw. V. St. 1911, 74, 377.
[8]) Ldw. V. St. 1872, 15, 465.
[9]) E. Ramann, Int. Mitt. f. Bodenkunde, 6, 1.
[10]) Journ. phys. Chemie, 1910, S. 353,
[11]) Weinhold, Ldw. V. St., 1862, 4, 188 und 1864, 6, 50.
[12]) Hellriegel, Jahresber. f. Agrikulturchemie, 1867, 117.
[13]) A. Atterberg, Ldw. Jahrb., 1866, 15, 415 und 1887, 16, 757.
[14]) R. Heinrich, Grundl. z. Beurteilung d. Ackerkrume, Wismar, 1882, S. 49 usf.
[15]) Helmkampf, Journ. f. Ldw., 1892, 40, 85.
[16]) desgl. 1904, 51, 31 und 193.
[17]) Th. Pfeiffer und E. Blanck, Ldw. V. St., 86, 1915, S. 339.
[18]) Greisenegger u. Vorbuchner, Oest.-ung. Zeitschr. f. Zuckerind. u. Ldw. 1918, 47, 281.

führten, daß 50 Körner in 100 g Boden gezogen wurden. Hörte infolge des Mangels des einen Nährstoffes das Wachstum auf, so wurde der nun fehlende Nährstoff so lange zugesetzt, bis ein anderer Nährstoff ins Minimum geriet. Nach einigen Wochen wurden die Halme geerntet und analysiert. Diese Methode, die keine brauchbaren Ergebnisse zeitigte, wurde in ähnlicher Weise von H. Neubauer und W. Schneider[19]) durchgeführt. Die Neubauer'sche Methode, über die wir eingehende Versuche angestellt haben, soll weiter unten ausführlicher besprochen werden.

Trotz der vielen zur Verfügung stehenden Methoden steht man heute bloß vor der einen Tatsache, daß die Verwendung einer allgemein gültigen chemischen Bodenuntersuchung nicht imstande ist, uns restlos über den Nährstoffvorrat eines Bodens aufzuklären[20]). Stets ist zu berücksichtigen, daß die verschiedenen Kulturpflanzen ein ihnen eigenes, individuelles Aufnahmevermögen für die einzelnen Nährstoffe besitzen, und daß sie auch verschiedene Säuren durch die Wurzeln ausscheiden, die verschieden auf die Bodensalze wirken müssen. Daß dem so ist, wurde nach Liebig[21]) von vielen anderen Agrikulturchemikern bewiesen. Mitscherlich[22]) hält die von den Wurzeln ausgeschiedene Kohlensäure für genügend, um die Nährstoffe des Bodens den Pflanzen zugänglich zu machen, Stoklasa[23]) fand, daß neben Kohlensäure auch Ameisen-, Essig-, Butter-, Valerian- und Milchsäure ausgeschieden würden, und mit einigem Recht können wir, unterstützt durch die Arbeiten Th. Pfeiffers und E. Blancks[24]), hinzufügen, daß auch diese ausgeschiedenen organischen Säuren aufschließend auf den Boden wirken werden. Die heutige Ansicht geht jedenfalls dahin, daß das Aufschließungsvermögen der Wurzeln ein recht verschiedenes ist, und hier ist auch einer der Gründe zu suchen, weshalb eine allgemein gültige chemische Bodenanalyse keine zutreffenden Ergebnisse liefern kann.

Als letzte Methode zur Feststellung des Nährstoffvorrates eines Bodens wären der Gefäß- und der Feldversuch zu erwähnen. Bei ersterem stehen die Pflanzen unter Bedingungen, welche die Regelung von Licht-, Wärme- und Wasserverhältnissen gestatten, auch schädliche, z. B. durch Pflanzenkrankheiten hervorgerufene Einflüsse können in diesem Falle besser verhindert werden. Die Erträge sind meist größer als diejenigen, welche bei Feldversuchen erhalten werden, bei denen die von der Natur geschaffenen Bedingungen keiner Beeinflussung unterliegen. Sowohl der Gefäß- als auch der Feldversuch sind nicht vollkommen einwandfrei,

---

[19]) H. Neubauer u. W. Schneider, Zeitschr. f. Pfl.-Ern. u. Düngg., A, 2. Jahrg. H. 5, S. 1 usw.

[20]) O. Lemmermann, Int. Mitt. f. Bodenkunde, 3, 572.

[21]) J. v. Liebig, Chemie i. ihrer Anwendung a. Ldw. u. Physiologie, IV. Aufl., 1847.

[22]) Mitscherlich, Ldw. Jahr., 1907, S. 310.

[23]) Stoklasa, Zentr.-Bl. f. Bakteriologie, II. Abt., 1911.

[24]) Th. Pfeiffer u. E. Blanck, Ldw. V. St., 77, 1912, S. 217.

jedenfalls erhält man aber hier immer noch die verläßlichsten Anhaltspunkte bezüglich des Nährstoffvorrates und der Düngebedürftigkeit eines Bodens.

In neuerer Zeit wird der von Neubauer und W. Schneider[25]) ausgearbeiteten Methode große Beachtung geschenkt, die man als „kurzen" oder „kleinen" Vegetationsversuch, verbunden mit Pflanzenanalyse bezeichnen kann, denn der Versuch beansprucht höchstens eine Dauer von 18 Tagen. Diese Methode, desgleichen die Umrechnung des Salzsäureauszuges nach Ganssen wurden zum Gegenstand vorliegender Arbeit herangezogen, sie sollen an Hand eines mit 6 verschiedenen Bodenarten durchgeführten Vegetationsversuches, dessen analysierte Pflanzensubstanz ebenfalls einem Vergleich dienen möge, auf ihre Brauchbarkeit geprüft werden. Weiterhin wurden bei dem Neubauer'schen Versuch, bei welchem bisher nur die Verhältnisse bezüglich des Kaliums und der Phosphorsäure untersucht worden sind, auch Natrium, Calcium und Magnesium erstmalig in unsere Untersuchungen einbezogen, und zum Unterschiede von Neubauer, der Roggen als Versuchspflanze wählte, Hafer hierzu verwendet.

Experimenteller Teil.

A. Chemische und physikalische Bodenuntersuchung:

Zur Verwendung gelangten 6 Böden aus der Umgebung Göttingens:

Boden I, vom Gute Geismar bei Göttingen, ein brauner, schwerer Lehmboden.

Boden II, vom Gute der Landesheil- und Pflegeanstalt Göttingen, ein hellbrauner Lehmboden.

Boden III, vom Versuchsfeld des landw. Instituts der Universität Göttingen, ein dunkler, nährstoffreicher Lehmboden.

Boden IV, vom Gute Reinhausen, ein schwerer, stark eisenschüssiger Tonboden.

Boden V, vom Gute Rosdorf, ein heller Lehmboden.

Boden VI, aus Deppoldshausen, zum Klostergut Weende gehörig, ein schwerer, heller Tonboden, mit einem starken Gehalt an Calcium und Magnesium.

Die chemische Bodenuntersuchung umfaßte:

1. Die Herstellung des Salzsäureauszuges nach Ganssen[26]). 25 g des lufttrockenen Bodens wurden mit 100 cm einer konzentrierten Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,15 eine Stunde lang auf dem Wasserbade erhitzt. Die Verarbeitung des erhaltenen Bodenauszuges geschah nach den üblichen Methoden.

2. Die Bestimmung der laugenlöslichen Kieselsäure nach van Bemmelen[27]) und

---

[25]) Siehe S. 4, Anm. 2,

[26]) Mitt. a. d. Labor. d. Preuß. geol. Landesanstalt, Berlin 1923, Heft 1.

[27]) J. M. van Bemmelen, Die Adsorption, 1910.

3. der Kohlensäure auf trockenem Wege[28]).

4. Die Feststellung des Humusgehaltes durch Oxydation mit Chromsäure, abzüglich der gefundenen CO_2-Werte[29]).

5. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffs nach Kjeldahl.[30]).

Die physikalische Bodenanalyse erstreckte sich:

1. Auf die Bestimmung der abschlämmbaren Substanz nach J. Kühn.[31])

2. der Wasserkapazität[32]) und

3. der Hygroskopizität nach Rodewald-Mitscherlich[33]).

Die auf Grund obiger Angaben erhaltenen Analysenresultate sind die nachstehenden:

Tabelle 1.

	Mittelwerte für je 100 g Bodentrockensubstanz					
	Boden					
	I	II	III	IV	V	VI
SiO_2, säurelöslich	0,15	0,09	0,10	0,15	0,14	0,06
SiO_2, laugelöslich	4,19	2,69	3,20	5,87	4,24	8,28
Gesamt-SiO_2	4,34	2,78	3,30	6,02	4,38	8,34
Al_2O_3	2,77	1,50	2,05	3,36	2,03	5,54
Fe_2O_3	2,56	2,56	3,12	3,47	2,84	3,41
CaO	2,35	0,84	3,97	2,36	1,66	8,15
MgO	0,26	0,85	0,84	1,94	0,24	6,97
K_2O	0,47	0,26	0,35	0,47	0,51	0,52
Na_2O	0,29	0,10	0,25	0,30	0,13	0,11
P_2O_5	0,18	0,21	0,48	0,42	0,15	0,27
SO_3	0,11	0,13	0,19	0,14	0,11	0,09
CO_2	0,79	0,22	1,46	1,75	0,46	10,32
Gesamt-N	0,09	0,11	0,18	0,16	0,08	0,14
Humus	1,71	1,32	1,57	1,75	1,23	2,62
Wasserkapazität	41,4	36,0	39,0	42,7	35,9	42,3
Hygroskopizität	3,9	4,99	6,6	6,74	2,99	8,79
Abschlämmbare Substanzen	61,1	51,6	59,0	83,7	55,5	82,8

B. Der Gefäßversuch: wurde nach Th. Pfeiffers[34]) Vorschriften durchgeführt. Je Gefäß wurden 18 kg lufttrockenen und gesiebten Bodens mit den aus nachstehendem Düngeplan ersichtlichen Mengen an Nährstoffen gründlich vermischt. Ammonnitrat wurde zur Hälfte als Grund- bezw. Kopfdüngung gegeben. Für jede Düngung waren 3 Parallelgefäße vorhanden, auf eine Bodenart kamen somit je 18 Gefäße.

---

[28]) Treadwell. quant. Analyse, Bd. II, 1923, S. 325.

[29]) König, Untersuchung ldw. u. ldw. gew. wichtiger Stoffe, 5. Aufl.. Bd. I, S. 50.

[30]) König: desgl. S. 51.

[31]) Wahnschaffe u. Schucht: Anleitung zur wissenschaftl. Bodenuntersuchung 1924, S. 22.

[32]) u. [33]) Mitscherlich: Bodenkunde, 3. Aufl., S. 12 u. 146.

[34]) Th. Pfeiffer: Der Vegetationsversuch. Berlin 1918.

Gefäß Nr.	Art der Düngung je Gefäß	Düngergabe je Gefäß in Gramm					
		K_2O als K_2SO_4	P_2O_5 als $CaHPO_4$	N[35]) als NH_4NO_3	$FeCl_3$	$MgCl_2$	CaO als $CaCO_3$
1—3	N + K + P	4,5	2	1,5	0,3	1,5	—
4—6	N + P	—	2	1,5	0,3	1,5	—
7—9	N + K	4,5	—	1,5	0,3	1,5	—
10—12	K + P	4,5	2	—	0,3	1,5	—
13—15	Ungedüngt	—	—	—	—	—	—
16—18	mit Kalk	—	—	—	—	—	10

Zur Aussaat, die überall gleichmäßig am 25. April 1923 erfolgte, diente Hafer — Struve's Original — dessen Keimfähigkeit 98% betrug. Ausgesät wurden je Gefäß 24 Körner, die Saat ging am 29. April überall gleichmäßig auf, mit Ausnahme des Bodens III, wo der Saataufgang einen Tag später erfolgte. Die jungen Pflanzen wurden am 9. Mai auf je 13 pro Gefäß verzogen. Bis zum Aufgang der Saat blieben die Gefäße im Glashause, hierauf wurden sie bis zum Verziehen in der Drahthalle aufgestellt, und nachher, sofern es die Witterungsverhältnisse erlaubten, ganz ins Freie gefahren. Zur besseren Ausnutzung der Lichtverhältnisse wurden die Gefäße im Dreiecksverband aufgestellt.

Die Wasserversorgung:

Die Böden hatten von der Bestellung bis zum Tage des Verziehens eine Feuchtigkeit von 25% der Wasserkapazität, hierauf wurden die Wassergaben entsprechend der herrschenden Temperatur und dem Fortschreiten der Vegetation bei täglicher Wägung der Gefäße allmählich bis 70% der Kapazität gesteigert.

Der Vegetationsverlauf wurde weder durch Pflanzenkrankheiten noch durch Pflanzenschädlinge gehemmt.

Anfangs entwickelten sich die jungen Pflanzen überall gleichmäßig, erst später machten sich Unterschiede bemerkbar, die besonders auf den ungedüngten Töpfen der Böden I, II und V in Erscheinung traten. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode wiesen außerdem die Gefäße Nr. 10—12 und 16—18 des Bodens I und 7—12 bezw. 16—18 des Bodens V ein deutliches Zurückbleiben in der Entwicklung auf.

Die Rispen erschienen: bei Boden I auf den Gefäßen 1—3 am 5., auf 4—9 am 8. und auf 10—18 am 9. Juli,

Bei Boden II auf den Gefäßen 1—12 am 7. und 13—18 am 8. Juli.

bei Boden III auf den Gefäßen 13—15 am 4., auf 4—6, 10—12 und 16—18 am 5., auf den restlichen Gefäßen am 7. Juli,

[35]) Je 0,75 g als Grund- bezw. Kopfdüngung, letztere am 19. Mai.

bei Boden IV auf den Gefäßen 1–9 am 4., auf 10—18 am 9. Juli,

bei Boden V auf allen Gefäßen gleichmäßig am 9. Juli,

bei Boden VI auf den Gefäßen 1—12 und 16—18 am 5., auf 13—15 am 6. Juli.

Die Blüte trat in ungefähr der gleichen Reihenfolge 4 Tage später ein.

Kurz vor der Ernte, die in der Milchreife am 26. Juli vorgenommen wurde, zeigte der Versuch äußerlich folgendes Bild:

Boden I: Die Pflanzen auf 1—9 waren sehr gut entwickelt, auf 10—18 war ein bedeutendes Zurückbleiben im Wachstum festzustellen, zudem schien aber die Kalkgabe einen geringen Mehrertrag zu liefern.

Boden II: Die Pflanzen auf 1—6 standen sehr gut, die Gefäße 7—9 hatten einen etwas niedrigeren Pflanzenstand, noch niedriger war er auf den Gefäßen 16—18, doch schien die Kalkung eine geringere Wirkung gehabt zu haben.

Boden III: Hier waren eigentlich alle Pflanzen gleich gut entwickelt, die Töpfe Nr. 10—15 wiesen Pflanzen mit hellerer Farbe auf, eine Kalkwirkung war äußerlich nicht erkennbar.

Boden IV: Die Gefäße 4–6 standen am besten, 1—3 und 7—9 sehr gut, auf 10—18 waren die Pflanzen heller und niedriger.

Gefäßversuche: Erntetrockensubstanzen bei 105° Celsius.

Düngung	Mittelwerte (mit wahrscheinlicher Schwankung) an Erntetrockensubstanz in g je Gefäß					
	Boden I	Boden II	Boden III	Boden IV	Boden V	Boden VI
N+K+P	106,7 ± 3,54	114,2 ± 1,49	90,7 ± 1,39	119,7 ± 2,27	103,3 ± 2,43	109,5 ± 2,13
N+P	98,8 ± 2,8	105,5 ± 2,89	85,9 ± 2,17	113,9 ± 2,25	105,3 ± 1,93	111,1 ± 3,34
N+K	98 ± 1,18	99,2 ± 0,46	82,2 ± 0,82	110,8 ± 2,01	35,8 ± 0,6	84,6 ± 2,05
K+P	33,8 ± 0,48	84,4 ± 1,77	80,7 ± 0,14	93,2 ± 4,4	31,7 ± 0,7	95,1 ± 2,97
ungedüngt	33,8 ± 0,58	50 ± 0,56	80,2 ± 0,17	81,3 ± 3,58	22,9 ± 1,0	83,5 ± 2,41
mit Kalk	39,7 ± 1,21	69,7 ± 1,95	84,1 ± 0,15	88,4 ± 2,79	20,5 ± 1,25	69,1 ± 2,23

Boden I: Gut Geismar bei Göttingen.
Boden II: Gut der Landes-Heil- und Pflegeanstalt in Göttingen.
Boden III: Versuchsfeld des Ldw. Instituts der Universität Göttingen.
Boden IV: Gut Reinhausen bei Göttingen.
Boden V: Gut Rosdorf bei Göttingen.
Boden VI: Vorwerk Deppoldshausen, zum Klostergute Weende gehörig.

Boden V: Der nährstoffärmste aller angewandten Böden; sehr gut standen die Gefäße mit Volldüngung, etwas niedriger war der Pflanzenstand auf den Gefäßen Nr. 4—6, sehr schwach entwickelt und mit dunkler Farbe waren die Pflanzen auf Nr. 7—9, noch niedriger, aber hellgrün gefärbt, auf Nr. 10—15. Eine Kalkdüngung erbrachte äußerlich keinen Erfolg.

Boden VI: Am besten entwickelt waren die Pflanzen auf den mit Volldüngung bezw. mit Stickstoff und Phosphorsäure versehenen Gefäßen, sie zeichneten sich durch dunkelgrüne Färbung aus, auch Nr. 7—15 waren gut, die Pflanzen auf Nr. 16—18 standen am niedrigsten, sie waren gleich denen ohne Stickstoffgabe, hellgrün.

Geerntet wurde nur die oberirdische Pflanzensubstanz, und zwar im Stadium der Milchreife der Körner, eine Trennung nach Korn und Stroh fand nicht statt. Die Gewichte der bei 105° Celsius erhaltenen Erntetrockensubstanz sind in Tabelle Seite 199 verzeichnet.

C. Die Untersuchung der Erntetrockensubstanz auf ihren Gehalt an CaO, MgO, P_2O_5 und K_2O: Je 20 g der gemahlenen und gut vermischten Pflanzensubstanz wurden in der Quarzschale zunächst roh verascht, zwecks Entfernung der Alkalien und eines Teiles der Phosphorsäure mit Wasser extrahiert, die Reinasche gewonnen und diese hierauf mit dem vorher erhaltenen Filtrat an Alkalien und Phosphorsäure auf dem Wasserbade mit Salzsäure behandelt. Nach neuerlicher Filtrierung wurde auf 250 ccm aufgefüllt und die oben angeführten Nährstoffe nach den üblichen Methoden bestimmt. Die folgende Zusammenstellung läßt die einzelnen Bestandteile der analysierten Pflanzensubstanz erkennen.

Der Versuch nach Neubauer und W. Schneider[87]).

Neubauer verfolgt mit seiner Methode den Zweck, dem Boden mit Hilfe der auf ihm gewachsenen Pflanzen in möglichst kurzer Zeit alle verfügbaren und leicht aufnehmbaren Nährstoffe zu entziehen. Das, was wir durch die Behandlung des Bodens mit verschiedenen Säuren erreichen wollen, läßt er die Pflanzen selbst besorgen, bei ihm tritt anstelle des Bodenauszuges, welcher die im Boden vorhandenen Nährstoffe in mehr oder weniger starkem Ausmaße gelöst enthält, die Pflanze, sie hat Verfügbares aufzusaugen, um nach kurzer Zeit, meist nach 14—18 Tagen, in ihrer gesamten Masse einer Analyse unterworfen zu werden. Neubauer und W. Schneider verwendeten bei ihren Versuchen 100 Roggenkörner, die sie in 100 g lufttrockenem Boden zogen. Diesen Boden versetzten sie zwecks Regulierung des Wassergehaltes und der leichteren Zugänglichkeit der Pflanzennährstoffe mit 300 g reinen Sandes. Die so beschickten Gefäße wurden während der oben angeführten Zeit der Vegetation überlassen und der Wasserverlust täglich durch Wägung ergänzt. Nebenher wurden auch

[87]) Zeitschr. f. Pfl.-Ernährung und Düngg. T. A, II. Bd., S. 329 usw.

Boden	Düngung	Mittelwerte in Prozenten der Trockensubstanz			
		CaO	MgO	P_2O_5	K_2O
Gut Geismar	N + K + P	1,66	0,18	0,60	3,82
	N + P	1,77	0,18	0,66	2,54
	N + K	2,14	0,14	0,68	3,6
	K + P	0,52	0,27	0,91	3,52
	ungedüngt	0,42	0,16	0,76	2,78
	mit Kalk	0,52	0,26	0,76	3,60
Gut der Landes-Heil- und Pflegeanstalt in Göttingen	N + K + P	0,44	0,23	0,79	3,25
	N + P	0,75	0,31	0,75	2,02
	N + K	0,80	0,25	0,77	3,74
	K + P	0,59	0,09	0,88	3,02
	ungedüngt	0,32	0,16	0,92	2,23
	mit Kalk	0,56	0,23	0,68	2,66
Vom Versuchsfeld des Ldw. Institutes der Universität Göttingen	N + K + P	1,41	0,18	0,71	3,48
	N + P	0,78	0,17	0,89	2,31
	N + K	0,79	0,16	0,69	3,49
	K + P	0,56	0,20	0,81	2,96
	ungedüngt	0,70	0,19	0,68	1,83
	mit Kalk	0,72	0,19	0,71	2,10
Gut Reinhausen	N + K + P	0,62	0,22	0,65	4,23
	N + P	0,63	0,20	0,67	4,12
	N + K	0,47	0,21	0,58	4,11
	K + P	0,46	0,19	0,71	3,17
	ungedüngt	0,43	0,18	0,55	2,73
	mit Kalk	0,52	0,16	0,57	3,18
Gut Rosdorf	N + K + P	1,41	0,37	0,54	3,87
	N + P	1,67	0,36	0,44	3,65
	N + K	1,36	0,34	0,55	3,95
	K + P	1,51	0,33	0,79	3,04
	ungedüngt	1,33	0,35	0,54	2,82
	mit Kalk	1,24	0,34	0,53	2,83
Klostergut Weende (Deppoldshausener Boden)	N + K + P	0,73	0,33	0,54	3,88
	N + P	0,76	0,42	0,49	3,47
	N + K	0,65	0,40	0,47	3,75
	K + P	0,49	0,40	0,56	3,43
	ungedüngt	0,51	0,35	0,35	3,04
	mit Kalk	0,66	0,35	0,45	3,24

Blindversuche angesetzt, bei denen lediglich reiner Sand und 100 Roggenkörner verwendet wurden. Nach 8—14 Tagen erfolgte die Analyse der gesamten Pflanzensubstanz je Gefäß; die bei den Blindversuchen gefundenen Werte an Kalium und Phosphorsäure wurden von denen der Kulturböden in Abzug gebracht und daraus ein Schluß auf einen Mangel bezw. Ueberschuß an K_2O und P_2O_5 des Bodens gezogen. Wie schon erwähnt, verwendete Neubauer Roggen und stellte für diesen folgende Verhältniszahlen fest: Ein Boden ist genügend mit Nährstoffen versorgt, wenn nach

Abzug der bei den Blindversuchen erhaltenen Werte mindestens 24 mg K_2O und 8 mg P_2O_5 aus je 100 g des trockenen Bodens aufgenommen werden.

Nachstehend sollen unsere eigenen nach der Neubauer'schen Methode angestellten Versuche besprochen werden. Nach anfänglichen Vorversuchen im Mai und Juni 1923, die bei der Analyse zu keinen übereinstimmenden Resultaten führten, wurden die Untersuchungen in den Monaten März bis Mai 1924 wiederholt, die diesmal recht übereinstimmende Ergebnisse zeitigten.

Der für die Versuche benutzte Sand stammte aus der Gegend von Uelzen in der Lüneburger Heide. Er wurde recht gründlich mit destilliertem Wasser gewaschen und hierauf analysiert: 50 g lufttrockenen Sandes wurden während der Dauer von 3 Stunden mit 250 ccm einer zehnprozentigen Salzsäure auf dem Wasserbade erhitzt; die Analyse zeigte folgenden Befund:

SiO_2 0,011%, $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 0,043%,
CaO 0,004%, MgO 0,003%, K_2O 0,002%,
Na_2O 0,001%, P_2O_5 Spuren.

Versuchspflanze war Göttinger Hafer. Die Körner wurden sorgfältig ausgelesen, für alle Versuche gleichzeitig gewogen und in Tüten aufbewahrt. Die verwendeten Glasgefäße hatten einen Durchmesser von 15 und eine Höhe von 8 cm. 100 g lufttrockenen Bodens wurden mit 50 g gereinigten Sandes gründlich gemischt, in das Gefäß gegeben, mit 100 g ebensolchen Sand überdeckt, 100 Körner eingesetzt, neuerdings mit 150 g Sandes überdeckt, angefeuchtet und der Keimung überlassen. Das Einsetzen der Körner geschah überall gleichzeitig. Während der Vegetation standen die Gefäße — je Boden drei Parallelen — in der sogenannten „kleinen Vermehrung" des Botanischen Gartens der hiesigen Universität, wo die Licht- und Temperaturverhältnisse außerordentlich günstig waren, die Temperatur sank nie, auch bei Nacht nicht, unter 19° Celsius und war nicht höher als 26° Celsius, das Glasdach begünstigte die Belichtung während des Tages in weitgehendem Maße. Die Gefäße wurden täglich gewogen und der Wassergehalt je Gefäß auf 80 ccm gehalten. Während der 17tägigen Vegetationsdauer traten keine Störungen ein.

Die Keimung erfolgte nach 3 Tagen, die jungen Pflanzen entwickelten außerordentlich rasch ein reich verzweigtes Wurzelsystem und durchsetzten bald den ganzen Kulturboden, während der darüber befindliche Sand nicht von den Wurzeln durchdrungen wurde. Auf dem Tonboden von Deppoldshausen waren die Wurzeln am feinsten und in größter Menge vorhanden, weniger, dafür aber umso kräftigere Wurzeln wies der Blindversuch mit reinem Sand auf. Auch die oberirdischen Pflanzenteile wuchsen freudig, am 14. Tage, bei reinem Sandboden schon am 13. Tage, schienen Längenwachstum und Entwicklung des Wurzelsystems aufgehört zu haben, jedenfalls war äußerlich eine Vermehrung der Pflanzensubstanz nicht mehr erkennbar. Die Ernte erfolgte am frühen Morgen des 17. Tages, die Pflanzen samt Wurzeln

wurden vorsichtig aus den Gefäßen herausgenommen, mit gewöhnlichem und destilliertem Wasser von dem anhaftenden Boden gereinigt und hierauf der Analyse unterzogen.

Die Untersuchung der gewonnenen Pflanzensubstanz:

Die gesamte Pflanzenmasse je eines Gefäßes wurde verascht, zwecks Abscheidung der Kieselsäure mit Salzsäure auf dem Wasserbade behandelt und der erhaltene Auszug auf 250 ccm aufgefüllt. Die Bestimmung der Phosphorsäure wurde wie bei Neubauer durchgeführt, der Kaligehalt wurde abweichend von ihm nach der Perchloratmethode festgestellt und die von uns erstmalig durchgeführte Untersuchung bezüglich des Gehaltes der jungen Pflanzen an Calcium, Magnesium und Natrium nach den gebräuchlichen Methoden bewerkstelligt.

Die Analysenbefunde sind in den nachstehenden Tabellen enthalten.

Die Interpretierung der Ergebnisse des Gefäßversuches.

Nachdem vorstehend der Gang unserer Untersuchungen angegeben worden ist, soll nunmehr das gewonnene Material einer vergleichenden Betrachtung unterzogen werden. Als Grundlage hierfür diene uns der Vegetationsversuch, dem, wie schon erwähnt, ebenfalls noch Fehler anhaften, der aber von allen Methoden die einwandfreieste ist und berechtigte Vergleiche am ehesten gestattet.

Boden I zeigt, daß er ungedüngt die niedrigsten Erträge brachte, es wurde eine Trockensubstanzernte von $33{,}8 \pm 0{,}58$ g erreicht, die jedenfalls weit hinter den mit Grunddüngung versehenen Gefäßen zurückbleibt, auf denen $106{,}7 \pm 3{,}54$ g geerntet wurden. Der Boden ist also nährstoffbedürftig, es fragt sich nun, welcher oder welche Nährstoffe zugeführt werden müssen, um Höchsterträge zu liefern. Die Düngung ohne Kali bewirkte gegenüber der Volldüngung eine Ertragserniedrigung, die $7{,}9 \pm 4{,}51$ g

Blindversuche (Analyse der Pflanzensubstanz) zu dem Verfahren nach Neubauer und Schneider. Boden: Sandboden, mit destilliertem H_2O gewaschen. Versuchspflanze: Göttinger Hafer.

Dauer des Versuches	Gewicht der 100 Körner in g	Gekeimt	Die Analyse der Pflanzensubstanz ergab insgesamt in mg je Gefäß:				
			K_2O	Na_2O	P_2O_5	CaO	MgO
vom 27. März bis 12. April	2,818	100	40,82	5,67	32,00	42,00	15,48
	2,887	99	42,02	5,73	33,92	45,00	16,56
	2,882	97	41,50	5,63	33,28	44,00	16,20
vom 13. Mai bis 30. Mai	3,022	98	42,70	6,22	33,28	50,00	16,92
	2,843	100	43,21	5,52	35,20	47,00	18,00
	2,910	100	42,36	5,18	31,36	43,00	15,12

Mittelwerte (mit wahrscheinlicher Schwankung) obenstehender Analysenergebnisse:

Dauer des Versuches	Gefunden	Mittelwerte von 3 Bestimmungen mit wahrscheinlicher Schwankung mg	Mittelwerte von 6 Bestimmungen mit wahrscheinlicher Schwankung mg	1 g Körner lieferte in mg
27. 3.—12. 4.	K_2O	$41{,}09 \pm 0{,}32$	$42{,}1 \pm 0{,}25$	14,61
13.—30. 5.		$42{,}76 \pm 0{,}18$		
27. 3.—12. 4.	Na_2O	$5{,}68 \pm 0{,}02$	$5{,}66 \pm 0{,}07$	1,95
13.—30. 5.		$5{,}64 \pm 0{,}23$		
27. 3.—12. 4.	P_2O_5	$33{,}06 \pm 0{,}43$	$33{,}17 \pm 0{,}38$	11,53
13.—30. 5.		$33{,}28 \pm 0{,}76$		
27. 3.—12. 4.	CaO	$43{,}66 \pm 0{,}67$	$45{,}16 \pm 0{,}84$	15,60
13.—30. 5.		$46{,}66 \pm 1{,}46$		
27. 3.—12. 4.	MgO	$16{,}08 \pm 0{,}24$	$16{,}38 \pm 0{,}30$	5,66
13.—30. 5.		$16{,}68 \pm 0{,}62$		

Versuche nach Neubauer und Schneider:

Gefunden	Die gegenüber den Blindversuchen gefundenen Mehrerträge in mg je 100 g Bodentrockensubstanz					
	Boden I	Boden II	Boden III	Boden IV	Boden V	Boden VI
K_2O	$41{,}60 \pm 0{,}11$	$26{,}77 \pm 0{,}23$	$24{,}62 \pm 0{,}75$	$67{,}41 \pm 0{,}38$	$23{,}87 \pm 0{,}34$	$61{,}06 \pm 8{,}10$
Na_2O	$2{,}01 \pm 0{,}28$	$1{,}18 \pm 0{,}28$	$1{,}43 \pm 0{,}08$	$0{,}93 \pm 0{,}09$	$0{,}89 \pm 0{,}06$	$0{,}25 \pm 0{,}06$
P_2O_5	$22{,}39 \pm 0{,}45$	$8{,}60 \pm 0{,}32$	$8{,}61 \pm 0{,}43$	$14{,}44 \pm 0{,}14$	$3{,}68 \pm 0{,}13$	$5{,}07 \pm 0{,}28$
CaO	$23{,}07 \pm 1{,}19$	$13{,}10 \pm 1{,}90$	$23{,}01 \pm 1{,}15$	$7{,}30 \pm 0{,}60$	$12{,}20 \pm 0{,}28$	$32{,}59 \pm 1{,}14$
MgO	$7{,}67 \pm 0{,}31$	$9{,}59 \pm 0{,}20$	$11{,}18 \pm 0{,}77$	$10{,}80 \pm 0{,}10$	$7{,}06 \pm 0{,}80$	$30{,}53 \pm 0{,}02$

beträgt, und die unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Schwankung so gering ist, daß nicht auf einen Kalimangel geschlossen werden kann. Auch die Grunddüngung, gegenüber den nicht mit Phosphorsäure versehenen Töpfen, läßt nur einen geringen Mehrertrag von $8{,}7 \pm 3{,}73$ g erkennen, sodaß auch ein Mangel an Phosphorsäure nicht vorliegt. In ganz auffallender Weise tritt die Stickstoffbedürftigkeit zu Tage: $33{,}8 \pm 0{,}48$ g geernteter Pflanzensubstanz, der gleiche Betrag, den die ungedüngten Gefäße erzielten. Wir können somit sagen, daß Boden I ein außerordentlich starkes Bedürfnis nach Stickstoff hat, jedoch

besteht kein Bedürfnis nach Phosphorsäure und Kali. Eine Kalkgabe konnte nur in geringem Maße Nährstoffe mobil machen, die dadurch erzielte Ertragssteigerung beträgt nur 5,9 ± 1,34 gegenüber „ungedüngt".

Auch bei Boden II erbrachte eine Gabe von allen drei Nährstoffen den höchsten Ertrag von 114,2 ± 1,49 g, er übersteigt das Zweifache des Ertrages auf den ungedüngten Gefäßen. Wurde der Boden nur mit N + P versehen, so trat infolge des fehlenden Kalis eine geringe, innerhalb der dreifachen wahrscheinlichen Schwankung liegende Ernteverminderung ein, die im Falle der fehlenden Phosphorsäuredüngung weiter auf 99,2 ± 0,46 g erniedrigt wurde, und in diesem Falle mit Sicherheit auf einen Mangel an Phosphorsäure zurückzuführen ist. Noch krasser tritt die Erntedepression hervor, wenn der Boden keine Stickstoffdüngung erhielt, hier wurde nur eine Ernte von 64,4 ± 1,77 g erzielt. Weiterhin machte eine Kalkgabe Nährstoffe disponibel, der erzielte und sicher gestellte Mehrertrag gegenüber den ungedüngten Gefäßen beträgt 19,7 ± 2,01 g bei zehnfacher wahrscheinlicher Schwankung. Aus dem Versuch kann der Schluß gezogen werden, daß der Boden vom Gute der Landes-Heil- und Pflegeanstalt Mangel an Stickstoff und Phosphorsäure hat, die Kalkgabe wirkte ertragssteigernd, Kali ist genügend vorhanden.

Boden III ist verhältnismäßig am reichsten mit allen 3 Nährstoffen versehen, was wohl darin seine Erklärung findet, daß gerade auf diesem Teilstücke des Göttinger Versuchsfeldes (A-Feld), welchem dieser Boden entnommen ist, während einer langen Reihe von Jahren reichlich Düngemittel zugeführt wurden. Dementsprechend mußte auch die Differenzdüngung ausfallen. Die Tabelle S. 199 zeigt uns, daß die mit Stickstoff, Phosphorsäure und Kali versehenen Gefäße gegenüber den ungedüngten eine verhältnismäßig geringe Ertragssteigerung von 10,5 ± 1,4 g erzielten. Die mangelnde Kalidüngung vermochte keine namhafte Erniedrigung an geernteter Trockensubstanz herbeizuführen, sie beträgt 4,8 ± 2,57 g. Hinsichtlich der Phosphorsäure besteht ein gerade sichergestellter Mangel an diesem Nährstoff, der sich im Falle der fehlenden P_2O_5-Düngung durch eine Erniedrigung an geernteter Trockensubstanz von 8,5 ± 1,61 g zu erkennen gibt. Desgleichen fehlt es an Stickstoff (Ernteausfall bei mangelnder Stickstoffgabe 10,0 ± 1,39 g). In mäßigem Ausmaße wurden durch eine Kalkgabe Nährstoffe mobil gemacht, was sich in einer geringen, allerdings 17-fach sichergestellten Ertragssteigerung im Vergleich zu den ungedüngten Gefäßen zeigt. Fassen wir in diesem Falle das Ergebnis unseres Versuches zusammen, so müssen wir feststellen, daß ein Stickstoff- und Phosphorsäuremangel besteht, Kali ist genügend vorhanden, eine Kalkung blieb ohne sonderliche Ertragssteigerung. Auffallend ist, daß gerade dieser, seit Jahren gut gedüngte Boden

nicht imstande war, eine Höchsternte zu erzielen, die denen der anderen Böden gleich käme.

Boden IV ist der aus Reinhausen stammende eisenschüssige Tonboden; eine Volldüngung gab die höchsten Erträge aller angewandten Bodenarten mit 119,7 ± 2,27 g trockener Pflanzenmasse. Ein Bedürfnis nach Kali besteht nicht. Betrachten wir die Düngung bezüglich eines eventuellen Phosphorsäuremangels: Auf diesen Gefäßen wurden 110,8 ± 2,01 g geerntet, der Ernteausfall ist gegenüber den Gefäßen Nr. 1—3 recht gering (8,9 ± 3,03 g) und außerdem nicht sichergestellt. Es verbleibt noch die Untersuchung bezüglich des Stickstoffs, und dieser ist es auch, der dem Boden IV von allen 3 Nährstoffen verhältnismäßig am meisten fehlt, die Erntedifferenz beträgt 26,5 ± 4,95 g. Eine Kalkgabe blieb ohne sichergestellte Wirkung, der Ernteausfall der ungedüngten gegenüber den mit Kalk versehenen Gefäßen beläuft sich auf 7,1 ± 4,5 g. Zusammenfassend kann der Reinhausener Boden als recht fruchtbar bezeichnet werden, er weist nur einen verhältnismäßig geringen Mangel an Stickstoff auf, Kali, Phosphorsäure und Kalk sind in ausreichender Menge vorhanden.

Am dankbarsten für eine Düngerzufuhr erwies sich Boden V, er ist im Vergleich mit den anderen 5 Bodenarten der nährstoffbedürftigste. Auffallend gering ist die Ernte auf den ungedüngten Gefäßen mit 22,9 ± 1,0 g und dementsprechend auffallend groß auf den mit Volldüngung versehenen Töpfen, am größten aber dort, wo wir nur Stickstoff und Phosphorsäure gegeben haben, nämlich 105,3 ± 1,93 g. Gering ist auch die Ernte auf den Gefäßen ohne Phosphorsäure, die Erntedepression beträgt hier gegenüber der Volldüngung 67,5 ± 2,5 g und sie ist noch größer — 71,6 ± 2,52 — bei mangelnder Stickstoffdüngung. Eine Kalkung blieb wirkungslos. Nach alledem besteht somit ein sehr großes Bedürfnis an Stickstoff und Phosphorsäure; Kali, desgleichen Kalk sind genügend vorhanden.

Der letzte der verwendeten Böden ist der schwere Deppoldshausener Tonboden (VI). Die Vermehrung der Erntetrockensubstanz bei Grunddüngung beträgt gegenüber den ungedüngten Gefäßen 26,0 ± 3,21 g, die nur mit Stickstoff und Phosphor versehenen Töpfe zeigen, daß kein Bedürfnis nach Kali besteht, dagegen ein sichergestellter Mangel an Phosphorsäure (Erntedifferenz 24,9 ± 2,95 g) und eine mögliche Stickstoffbedürftigkeit, die in einem Ernteausfall von 14,4 ± 3,65 g zum Ausdruck kommt. Die diesbezüglichen n-fachen Schwankungen betragen 8 für Phosphorsäure, und 4 für Stickstoff. Auffällig ist die infolge der Zufuhr von Kalk eingetretene Erntedepression von 14,4 ± 3,28 g, die auf Grund der Schwankung wahrscheinlich ist, und deren Ursache wohl darin zu suchen ist, daß der schon von Haus aus große Vorrat an Kalk durch eine weitere Zufuhr eine antagonistische Wirkung infolge Ueberschreitung des Schwellenwertes hervorgerufen hat. Im allgemeinen ist Boden VI dahin zu charakteri-

sieren, daß ihm geringe Mengen Phosphorsäure und vielleicht auch etwas an Stickstoff fehlen, nicht dagegen Kali und Kalk.

Zusammenfassung der Ergebnisse des Vegetationsversuches.

Aus der auf S. 199 befindlichen Uebersicht, desgleichen aus der vorstehend besprochenen Charakteristik unserer Böden, läßt sich bezgl. des Vegetationsversuches zusammenfassend folgendes sagen:

Stickstoff fehlt am meisten auf den Böden V, I und II, IV, geringer ist die Bedürftigkeit auf den Böden III und möglich auf VI.

Phosphorsäure: Keinen Phosphorsäuremangel hat Boden I, möglich ist das Bedürfnis auf Boden IV und sichergestellt in steigendem Ausmaße auf den Böden III, II, VI und V.

Kali: Allen Böden gemeinsam ist der in genügender Menge vorhandene Kalivorrat. Am meisten weisen in dieser Hinsicht der Rosdorfer (V) und Deppoldshausener Boden (VI) auf.

Kalk: Die Kalkzufuhr diente vornehmlich zu der Feststellung, ob durch den Kalk Nährstoffe im Boden mobil gemacht würden. Unsere Versuche zeigen, daß eine Kalkung der Böden VI, V und IV überflüssig ist, die Kalkgabe auf Boden I ruft in geringem Ausmaße eine bessere Ausnützung der Nährstoffe dieses Bodens hervor, auf II und III ist die günstige Wirkung des Kalkes sichergestellt, obwohl auch hier keine nennenswerte Vermehrung an Erntetrockensubstanz eintritt.

Uebersicht über die Differenzernten.

Boden	Erntetrockensubstanz in g bei Volldüngung	(+) Mehr- oder (−) Minderertrag gegenüber Volldüngung bei fehlender					
		N-Düngung		P_2O_5-Düngung		K_2O-Düngung	
I	106,7 ± 3,54	− 72,9 ± 3,57	20^{38})	− 8,7 ± 3,73	2^{38})	− 7,9 ± 4,51	2^{38})
II	114,2 ± 1,49	− 29,8 ± 2,31	13	− 15,0 ± 1,56	10	− 8,7 ± 3,25	3
III	90,7 ± 1,39	− 10,0 ± 1,39	7	− 8,5 ± 1,61	5	− 4,8 ± 2,57	2
IV	119,7 ± 2,27	− 26,5 ± 4,95	5	− 8,9 ± 3,03	3	− 5,8 ± 3,19	1
V	103,3 ± 2,43	− 71,6 ± 2,52	28	− 67,5 ± 2,5	27	+ 2,0 ± 3,10	—
VI	109,5 ± 2,13	− 14,4 ± 3,64	4	− 24,9 ± 2,95	8	+ 1,6 ± 3,96	—

[38]) Die in dieser Rubrik angegebenen Zahlen bedeuten die n-fache wahrscheinliche Schwankung.

Pflanzenanalyse und Nährstoffvorrat bezw. Nährstoffbedürftigkeit eines Bodens.

Einleitend wurde bereits gesagt, daß schon häufig versucht wurde, aus den bei der Analyse der Pflanzensubstanz erhaltenen Werten einen Schluß auf die Fruchtbarkeit eines Bodens zu ziehen. An die Lösung dieser Frage wurde in verschiedener Weise herangegangen, befriedigende Ergebnisse konnten jedoch noch keine erzielt werden. In vorliegender Arbeit wurde versucht, ebenfalls irgendwelche Folgerungen aus den in den Pflanzen aufgenommenen Nährstoffmengen zu ziehen, geleitet von den gleichen Gedanken, die Th. Pfeiffer und Mitarbeiter in verschiedenen weiter unten zu erörternden Untersuchungen dargelegt haben.

Aequivalente Mengen der gesamten Trockensubstanz (Körner und Stroh) wurden analysiert und deren Gehalt an Kalium, Kalzium, Magnesium und Phosphorsäure festgestellt; die gefundenen prozentualen Mittelwerte sind in Tabelle S. 201 enthalten, hinsichtlich des anderen Materials sei auf die späteren Zusammenstellungen dieser Abhandlung verwiesen.

Zunächst soll der von Th. Pfeiffer[39]) seinerzeit eingeschlagene Weg noch einmal beschritten werden. Es ist zu untersuchen, ob im vorliegenden Falle die Aufstellung von Normalgehaltszahlen Anhaltspunkte bezgl. des Nährstoffzustandes eines Bodens zu liefern imstande ist.

Pfeiffer und Mitarbeiter gingen von dem Gedanken aus, die Ertragssteigerung werde umso größer sein und umso stärkere Luxuskonsumption werde von den Pflanzen betrieben, je höher der Gehalt des Bodens an verfügbaren Pflanzennährstoffen sei. Er suchte daher Normalgehaltszahlen der Pflanzen an den einzelnen Nährstoffen aufzustellen, die er derart fand, daß die Pflanzensubstanz der jeweils nicht mit dem betreffenden Nährstoff versehenen Gefäße auf den Gehalt an diesem Nährstoff untersucht und aus den auf solche Weise bei verschiedenen Böden erhaltenen Werten das Mittel gezogen wurde. Auf unsere Versuche übertragen heißt dies, daß wir bezgl. der Phosphorsäure jedesmal die Prozentzahlen an Phosphorsäure in der Erntetrockensubstanz der Gefäße Nr. 7—9 eines jeden Bodens heranziehen müssen, um zu der Normalgehaltszahl zu gelangen. Dabei wurden wie bei Th. Pfeiffer die höchsten Werte der Böden I, II und III ausgeschaltet und nur die restlichen drei mit niedrigem Phosphorsäuregehalt benutzt, deren Mittel-Normalgehaltszahl 0,533 beträgt. Dieser Wert liegt jedoch immer noch höher als der von Th. Pfeiffer[40]) und C. v. Seelhorst[41]) für Hafer mit 0,43 bezw. 0,398 angegebene. Verwenden wir unsere Normalgehaltszahl für Phosphorsäure zur Charakteristik des Gehaltes dieses Nährstoffes im Boden, so finden wir folgende über bezw. unter dieser Zahl

[39]) Th. Pfeiffer u. Mitarbeiter, Ldw. V. St., 86. 1915, S. 339.
[40]) Th. Pfeiffer u. Mitarbeiter, Ldw. V. St., 86. S. 339.
[41]) C. v. Seelhorst, J. f. Ldw., 46, S. 367.

liegende Werte: Boden I + 0,23, Boden II + 0,39, Boden III + 0,18, Boden IV + 0,02, Boden V + 0,01, Boden VI — 0,18.

Je mehr nun die Prozentzahl die Normalgehaltszahl überschreitet, umso weniger sollte es der Zufuhr von Phosphorsäure bedürfen, umso größer müßte die bei fehlender Phosphorsäuredüngung eingetretene Ertragssteigerung sein, auf unsere Verhältnisse bezogen sollte Boden II am wenigsten einer Zufuhr dieses Nährstoffes bedürfen. Gleichzeitig aber sollte er auch die größte Zunahme an Erntetrockensubstanz zeigen, ein Resultat, welches, verglichen mit dem Ergebnis des Vegetationsversuches, nur insofern übereinstimmt, als die größte sichergestellte wahrscheinliche Schwankung (70fach), nicht aber die größte absolute Vermehrung der Erntetrockensubstanz eingetreten ist, sobald wir Stickstoff und Kali zuführten. Den größten Ueberschuß an Phosphorsäure, auf Normalgehaltszahl bezogen, finden wir bei Boden II (0,39). Die von Pfeiffer vermutete Gesetzmäßigkeit konnte hier nicht festgestellt werden, desgleichen auch nicht bei den folgenden Böden, sobald wir die Ueberschußzahlen verwerten wollen, wir sind bei keinem Boden imstande, die Ueberschußzahlen in Uebereinstimmung mit den Ergebnissen des Gefäßversuches zu bringen. Ungünstig liegen die Verhältnisse besonders bei dem Deppoldshausener Boden, wo die Gefäße No. 7—9 einen unbedeutenden Phosphorsäuremangel erkennen lassen, wo aber andererseits der durch die Pflanzenanalyse erhaltene Prozentgehalt (0,35) soweit unterhalb der Normalgehaltszahl (0,535) liegt, daß er hinsichtlich einer Gesetzmäßigkeit nicht mit den anderen Werten in Einklang gebracht werden kann.

Der Prozentgehalt der Pflanzen an Kali ist überall ein bedeutender und hängt wohl mit der Tatsache zusammen, daß die fehlende K_2O-Düngung auf keinem der verwendeten Böden eine sichergestellte Ertragserniedrigung zu erzielen vermochte. Auch das Ergebnis des Salzsäureauszuges spricht für eine Bestätigung der angeführten Ansicht der vollständig genügenden Versorgung unserer Böden mit Kali. Vergleichen wir die seinerzeit von Th. Pfeiffer[42]) und C. v. Seelhorst[43]) ebenfalls mit Hafer angestellten Versuche, bei denen kalia rme Böden zur Verwendung gelangten und bei denen die Normalgehaltszahl 0,819 beträgt, so müssen wir in Anlehnung an die dort gefundenen Werte feststellen, daß bei unseren Böden, wo wir einen niedrigsten Prozentgehalt an Kali mit 1,83 feststellen müssen, eine Aufstellung von Normalgehaltszahlen nicht möglich ist und Untersuchungen in fraglicher Richtung nicht gepflogen werden können.

Spätere Arbeiten führten Th. Pfeiffer[44]) zur Auffindung einer Gesetzmäßigkeit, die er besonders bei mit Sand angestellten Versuchen fand, und die er auch auf die Ackerböden anzuwenden

---

[42]) und [43]) L. c.
[44]) Th. Pfeiffer u. Mitarbeiter, J. f. Ldw., 1919, S. 1.

hoffte; er drückt sich hierüber folgendermaßen aus: „Für diejenigen Punkte der Ertragskurven, bei denen die Steigerung dividiert durch den jeweils erzielten Ertrag (die Subtangente) zu denselben Werten führt, weisen die in Frage kommenden Erträge den gleichen prozentischen Nährstoffgehalt auf.“ Die Richtigkeit seiner Ansicht schien ihm auch durch die Ergebnisse einiger Feldversuche, bezgl. deren wir auf die Originalarbeit verweisen, wenn auch nicht vollständig, so doch mit einiger Berechtigung als feststehend.

Wir haben auch hierüber unsere Gefäßversuche zu Rate gezogen; aus folgender Zusammenstellung sind die gefundenen Werte zu erkennen:

Boden	Düngung	Ertrag		% P_2O_5	Mehrertrag auf 1 P_2O_5
		Trocken-Substanz g	P_2O_5 g		
I	Volldüngung	106,7 ± 3,54	0,64	0,60	—
	„ ohne P_2O_5	98,0 ± 1,18	0,67	0,68	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	8,7 ± 3,73	— 0,03	—	—
II	Volldüngung	114,2 ± 1,49	0,90	0,79	—
	„ ohne P_2O_5	99,2 ± 0,46	0,76	0,77	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	15,0 ± 1,56	0,14	—	107,0
III	Volldüngung	90,7 ± 1,39	0,64	0,71	—
	„ ohne P_2O_5	82,2 ± 0,82	0,57	0,69	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	8,5 ± 1,61	0,07	—	121,0
IV	Volldüngung	119,7 ± 2,27	0,79	0,65	—
	„ ohne P_2O_5	110,8 ± 2,01	0,64	0,58	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	8,9 ± 3,30	0,15	—	59,0
V	Volldüngung	103,3 ± 2,43	0,56	0,54	—
	„ ohne P_2O_5	35,8 ± 0,60	0,20	0,55	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	67,5 ± 2,50	0,36	—	187,0
VI	Volldüngung	109,5 ± 2,13	0,59	0,54	—
	„ ohne P_2O_5	84,6 ± 2,05	0,40	0,47	—
	Mehrertrag durch P_2O_5	24,9 ± 2,95	0,19	—	131,0

Aus diesen Berechnungen ersehen wir, daß schon Boden I für unsere Untersuchung nicht in Frage kommen kann, da wir auf den ohne Phosphorsäure gedüngten Gefäßen sowohl eine größere absolute als auch prozentische Menge an P_2O_5 erhalten haben. Die Ertragssteigerung im Falle der Volldüngung ist ja auch keineswegs eine sichergestellte, der Boden war eben genügend mit diesem Nährstoff versehen. Wir finden hier die auch von Th. Pfeiffer angeführte Erscheinung, daß Fälle vor-

kommen, bei denen die Erträge der ohne eine Düngung mit dem zu prüfenden Nährstoff versehenen Gefäße bereits so groß sind, daß der Höchstertrag zu früh erreicht wird. Schalten wir daher diesen Boden aus und ziehen die übrigen 5 für die Pfeiffer'sche Gesetzmäßigkeit heran, dann sehen wir, daß dem größten Mehrertrag an absoluter Trockensubstanz (Boden V) auch der größte Mehrertrag auf 1 P_2O_5 entspricht, die gleiche Regelmäßigkeit können wir auch bei VI verzeichnen. Dann aber ändert sich das Bild, die folgenden Böden lassen bei den aufeinander bezughabenden Werten diese vermutete Gesetzmäßigkeit nicht mehr erkennen, die Böden II, III und IV haben so stark abweichende Größen, daß sich auf Grund der beiden günstigen Befunde kein Schluß auf die Richtigkeit der Pfeiffer'schen Ansicht ziehen läßt.

Die nachstehende Tabelle gibt die bezüglich des Kalis gefundenen Größen an. Hier liegen die Verhältnisse günstiger, und die Pfeiffer'sche Gesetzmäßigkeit zwischen den Mehrerträgen an Trockensubstanz und denjenigen auf 1 K_2O weist eine größere Regelmäßigkeit auf, die jedenfalls erkennen läßt, daß kein Kalimangel vorliegt. Es ist jedoch zu bemerken, daß infolge der großen im Boden vorhandenen Kalimengen Luxuskonsump-

Boden	Düngung	Ertrag		% K_2O	Mehrertrag auf 1 K_2O
		Trockensubstanz g	K_2O g		
I	Volldüngung	106,7 ± 3,54	4,08	3,82	—
	„ ohne K_2O	98,8 ± 2,80	2,51	2,54	—
	Mehrertrag durch K_2O	7,9 ± 4,51	1,57	—	5,0
II	Volldüngung	114,2 ± 1,49	3,71	3,25	—
	„ ohne K_2O	105,5 ± 2,89	2,13	2,02	—
	Mehrertrag durch K_2O	8,7 ± 3,25	1,58	—	5,5
III	Volldüngung	90,7 ± 1,39	3,16	3,48	—
	„ ohne K_2O	85,9 ± 2,17	1,99	2,31	—
	Mehrertrag durch K_2O	4,8 ± 2,57	1,17	—	4,0
IV	Volldüngung	119,7 ± 2,27	5,06	4,23	—
	„ ohne K_2O	113,9 ± 2,25	4,70	4,12	—
	Mehrertrag durch K_2O	5,8 ± 3,19	0,36	—	16,0
V	Volldüngung	103,3 ± 2,43	4,00	3,87	—
	„ ohne K_2O	105,3 ± 1.93	3,84	3,65	—
	Mehrertrag durch K_2O	— 2,0 ± 3,13	0,16	—	—
VI	Volldüngung	109,5 ± 2,13	4,25	3,88	—
	„ ohne K_2O	111,1 ± 3,34	3,86	3,47	—
	Mehrertrag durch K_2O	— 1,6 ± 3,96	0,39	—	—

tion vor sich geht, eine nennenswerte Vermehrung an Trockensubstanz bleibt aus. Auch hier tritt der Fall ein, der schon von Th. Pfeiffer vermutet worden ist, und die aufgestellte Theorie nicht zu Recht bestehen läßt:

Ohne Kalidüngung ist der absolute Wert an aufgenommenem Kali bereits so groß, daß eine weitere Kaligabe den Pflanzenertrag nicht mehr zu steigern vermag, Kali dient lediglich der Luxuskonsumption.

Die Interpretierung der Ergebnisse des Versuches von H. Neubauer und W. Schneider.

Betrachtet man die bei den Blindversuchen erhaltenen Analysenresultate, dann gewinnt man auf den ersten Blick die Ueberzeugung, daß bei Bestimmung der verschiedenen Pflanzennährstoffe gut übereinstimmende und brauchbare Werte gefunden wurden. Bei der weiteren Berechnung wurde die Fehlerwahrscheinlichkeit in Anwendung gebracht, was aus dem Grunde für berechtigt gelten kann, da wegen der geringen Mengen geernteter Pflanzensubstanz immer nur die gesamte Pflanzenmasse eines Gefäßes zu einer Analyse verwendet wurde, mit anderen Worten, weil je Gefäß keine Parallelbestimmungen durchgeführt werden konnten. Die Einzelresultate S. 203 weichen beim Kali nirgends um mehr als 2,39 mg ab, diese Werte werden teilweise noch dadurch korrigiert, daß auch das Gewicht der 100 Körner nirgends gleich ist. Die gleichen, recht gut übereinstimmenden Verhältnisse sind auch beim Natrium, Magnesium und der Phosphorsäure zu finden, und auch die Mittelwerte von drei Bestimmungen mit wahrscheinlicher Schwankung lieferten gute Resultate. Für unsere Berechnungen bei den Kulturböden wurden die aus sechs Blindbestimmungen ermittelten Werte verwendet, denn beide, mit je 3 Gefäßen und zu verschiedenen Zeiten, d. h. vom 27. März bis 12. April und vom 13. bis 31. Mai. angesetzten Versuche weisen keine bezw. nur außerordentlich geringe Unterschiede auf. Auf solche Weise erhält man aus der größeren Anzahl von Bestimmungen auch sichere und verwendbare Größen, die überall so sind, daß die wahrscheinliche Schwankung höchstens $1{,}8\,\%$ beträgt. Die weitere Berechnung geschah derart, daß zunächst festgestellt wurde, wieviel mg an einzelnen Pflanzennährstoffen 1 g der auf reinem Sand gewachsenen Körner lieferte. Diese Werte wurden auf das Gewicht der für die Kulturböden verwendeten Körner umgerechnet und von den bei der Analyse der Pflanzensubstanz der Ackerböden gefundenen Mengen in Abzug gebracht: Ein Plus ergab uns die von den Böden I—VI betriebene Mehraufnahme an Pflanzennährstoffen.

Zunächst sollen die Verhältnisse bezgl. des Kaliums untersucht werden. Die auf den einzelnen Böden erzielte Mehraufnahme sei nachstehend noch einmal wiedergegeben:

Je 100 g Bodentrockensubstanz wurden mehr aufgenommen

I	II	III	IV	V	VI
41,6 ±0,11	26,77 ±0,23	24,62 ±0,75	67,41 ±0,38	23,87 ±0,34	61,06 ±0,81 mg

Die Beurteilung dieses Zahlenmaterials gestaltet sich hier insofern schwierig als bei keinem Boden unter Zugrundelegung der beim Gefäßversuch erhaltenen Ergebnisse ein Kalimangel festgestellt werden konnte. Alle Böden waren mit genügend Kali versorgt, eine untere Grenze, bei welcher wir sagen können, es beginne die Kalibedürftigkeit, ist hier nicht mit Sicherheit anzugeben.

Die beim Vegetationsversuch gefundenen Verhältnisse sagen uns, daß eigentlich die Böden V und VI einen größten Ueberschuß an verfügbarem Kali besitzen. Wir sollten in diesem Falle auch die größten Kalimengen in der produzierten Pflanzensubstanz vorfinden, was wohl für Boden VI in Geltung kommt, was aber nicht mit Boden V, wo 23,87±0,34 mg, die geringste überhaupt gefundene Kalimenge, festgestellt wurde, in Einklang gebracht werden kann, selbst wenn wir den großen Mangel an Phosphorsäure berücksichtigen. Auch der Reinhausener Boden (IV) weist mit 67,41±0,38 mg eine große Mehraufnahme auf, in diesem Falle und auch bei Boden VI dürfte Kalium wahrscheinlich in außerordentlich leicht löslicher Form im Boden verhanden und von den Pflanzen bereits im jugendlichen Stadium Luxuskonsumption betrieben worden sein. Einigermaßen gleich liegen die Verhältnisse nur bei Boden II, III und dem schon besprochenen Boden V, Boden I nimmt mit 41,6±0,11 mg ungefähr die Mitte der gefundenen Kaligrößen ein, läßt sich aber auch nicht in irgend einer Weise zum Kalivorrat dieses Bodens in Beziehung bringen. Zusammenfassend können wir sagen: Unsere Versuche gestatten nicht, eine Grenze festzustellen, bei der ein Boden als kalibedürftig bezeichnet werden kann, wir haben so kalireiche Böden, daß die Feststellung dieser Verhältnisse von Haus aus nicht in Frage kommen konnte. Mit einiger Berechtigung dürfen wir jedoch sagen, daß die Grenze bezgl. des Kalimangels jedenfalls bedeutend unter 24 mg liegen dürfte, sofern Hafer als Versuchspflanze gewählt wird.

Die für Natrium gefundenen Verhältnisse gestalteten sich folgendermaßen:

Je 100 g Bodentrockensubstanz wurden mehr aufgenommen:

I	II	III	IV	V	VI
2,01 ±0,28	1,18 ±0,28	1,43 ±0,08	0,93 ±0,09	0,89 ±0,06	0,25 ±0,06 mg

Daraus ersehen wir, daß auf keinem der angewandten Böden eine nennenswerte Mehraufnahme an Natrium stattgefunden hat, sie beträgt im Höchstfalle $2{,}01 \pm 0{,}28$ mg und ist bei Boden VI so gering, daß der Wert sicherlich nicht als maßgebend angesehen werden kann. Die Größen, innerhalb derer wir uns hier bewegen, besitzen gerade wegen ihrer niedrigen absoluten Menge die größere Wahrscheinlichkeit unvermeidlicher Fehlerquellen. Aus den Körner- und Strohanalysen von Getreide wissen wir, daß der Gehalt der Pflanze an Natrium im Vergleich zum Kalium ein recht geringer ist. Dementsprechend war auch mit einem ähnlichen Ergebnis unserer Untersuchungen zu rechnen, daß noch durch den Umstand bekräftigt wird, daß in unseren Böden genügende Mengen Kali vorhanden sind, und daß somit, wie dies von Th. Pfeiffer[45]) in einer seiner Arbeiten nachgewiesen werden konnte, auf unseren Böden nicht an eine Vertretbarkeit des Kaliums durch das Natrium im jugendlichen Stadium der Pflanzen gedacht werden kann. Im allgemeinen besitzen die Böden genügende Mengen an Natrium und die Ergebnisse der Bodenauszüge lehren uns, daß meist mit einem Verhältnis von $K_2O : Na_2O = 2 : 1$ gerechnet werden kann, daß aber auch niedrigere Werte gefunden werden, ohne deswegen ein Bedürfnis an Natrium feststellen zu müssen. Wenden wir das eben Gesagte auf unsere Versuche an, so entsprechen die Böden I, III und IV dem ungefähren Verhältnis 2:1, während bei II, V und VI die Werte für Na_2O nur 38,26 bezw. 21 % derjenigen des Kalis ausmachen. Viel ist damit nicht gewonnen, und auch die für die Alkalien beim Salzsäureauszug gefundenen Zahlen passen sich unseren nach der Neubauer-Methode festgestellten Befunden in keiner Weise an; wir können unsere Erwägungen kurz dahin zusammenfassen, daß die junge Pflanze nur äußerst geringe Mengen des auch in der ausgewachsenen Pflanze nur spärlich enthaltenen Natriums aufnimmt. Da Kalium auch in genügender Menge vorhanden ist, so ist auch in dieser Hinsicht ein Schluß bezgl. des Natriums nicht möglich.

Bei der Verwertung des nach Neubauer erhaltenen Analysenmaterials lag der Gedanke nahe, daß vielleicht in bezug auf Ca und Mg ähnliche Verhältnisse festgestellt werden können, wie sie von Neubauer und anderen hinsichtlich des K und der P_2O_5 gefunden worden sind. Zur Beurteilung dieser Frage wurde auch hier wieder der Vegetationsversuch als Grundlage herangezogen, obwohl bezüglich des Ca keine Differenzdüngung zugrunde liegt, und infolgedessen Vergleiche nur mit der in HCl löslichen Menge an Ca angestellt werden dürfen, die uns aber in diesen Fällen auch keine übereinstimmenden Verhältnisse lieferten. Nachstehend sei auf die nach der Neubauermethode erhaltenen Werte hingewiesen:

---

[45]) Th. Pfeiffer u. Mitarbeiter, Ldw. V. St. 77, 1912, S. 217.

Mehraufnahme in mg	Bodenart					
	I	II	III	IV	V	VI
CaO	23,07 ± 1,19	13,10 ± 1,90	23,01 ± 1,15	7,30 ± 0,60	12,20 ± 0,28	32,59 ± 1,14

Eine Kalkgabe konnte auf den Böden I und III unseres Gefäßversuches am wenigsten Nährstoffe disponibel machen, etwas besser gestalteten sich die Verhältnisse auf II, in genügender Menge waren die anderen Böden mit Kalk versorgt. Vergleichen wir hiermit die beim Neubauerschen Versuch gefundenen Zahlen, so sehen wir, daß auch hier wieder die gleiche Unregelmäßigkeit auftritt, wie wir sie schon oben feststellen mußten. Anlehnend daran, daß der geringste Kalkgehalt im Boden auch die geringste in die Pflanze eingetretene Kalkmenge aufweisen sollte, müßte der Boden II am wenigsten von diesem Nährstoff abgegeben haben, das Gleiche gilt für I und III, wenn auch in geringerem Ausmaße. Beschränken wir uns nur auf diese Böden, dann finden wir allerdings, daß mit zunehmender Kalkbedürftigkeit auch ein geringerer Ueberschuß an diesem Nährstoff in der analysierten Pflanzensubstanz vorhanden war. Richtig gestalten sich die Verhältnisse auch beim Deppoldshausener Boden, der mit seinem größten Kalkvorrat auch die größte Mehraufnahme mit 32,59 ± 1,14 mg verzeichnet. Die vermutete Gesetzmäßigkeit trifft aber nicht für die beiden anderen Böden, IV und V, ein: Der Reinhausener Boden hat genügend Kalk, trotzdem beträgt die Mehraufnahme nur 7,3 ± 0,6 mg, und auch der Rosdorfer Boden will sich unseren Vermutungen nicht anpassen, sodaß es nicht den Anschein hat, aus der größeren oder geringeren Menge aufgenommenen Kalziums einen einwandfreien Schluß ziehen zu dürfen.

Mehraufnahme in mg	Bodenart					
	I	II	III	IV	V	VI
MgO	7,67 ± 0,31	9,59 ± 0,20	11,18 ± 0,77	10,80 ± 0,10	7,06 ± 0,80	30,53 ± 0,02

Der Magnesiumgehalt der jungen Haferpflanzen ist etwas regelmäßiger als der Kalkgehalt und gestattet eher zu einem positiven Urteil zu gelangen. Magnesium ist ein Bestandteil des Phytolesters Chlorophyll, es findet sich somit in allen grünen Pflanzenteilen, ferner im Samen und auch die Wurzeln weisen geringe Mengen davon auf. Die gefundenen Überschußzahlen lassen erkennen, daß das Magnesium eine verhältnismäßig gleiche Aufnahme erfahren hat, und dies deckt sich auch mit den Werten, die wir bei der Analyse der auf den ungedüngten Gefäßen des Vegetationsversuches erhaltenen Pflanzensubstanz gefunden haben. Ein

Boden, nämlich V, weicht leider in starkem Ausmaße von diesem Befunde ab: Die Mehraufnahme beträgt nur $7{,}06 \pm 0{,}8$ mg, demgegenüber steht aber beim Gefäßversuch ein Prozentgehalt der Erntetrockensubstanz von 0,35. Auffallend groß ist das außerordentlich hohe Plus von $30{,}53 \pm 0{,}02$ mg bei Boden VI, das seine Erklärung wohl darin zu finden hat, daß den Pflanzen große Mengen an Magnesium zur Verfügung standen und in weitgehendem Maße Luxuskonsumption betrieben wurde. Bestätigt wird dies auch durch den auf S. 201 angegebenen hohen Gehalt der Erntetrockensubstanz mit durchschnittlich 0,38% Magnesium.

Der letzte der untersuchten Pflanzennährstoffe war die Phosphorsäure. Der Gefäßversuch sagte uns, daß Boden I kein Bedürfnis nach Phosphorsäure hat, daß jedoch ein solches auf IV möglich und sichergestellt in steigendem Ausmaße auf den Böden III, II, VI und V ist. Werden damit die bei der Neubauer'schen Methode erzielten Werte verglichen, die wir in nachstehender Tabelle in der gleichen Reihenfolge wie die obigen Böden, d. h. nach ihrer Phosphorsäurebedürftigkeit, aufzählen,

Boden I	$22{,}39 \pm 0{,}45$[46]	$-\ 8{,}7 \pm 3{,}73$[47])	2[48])
„ IV	$14{,}44 \mp 0{,}14$	$-\ 8{,}9 \mp 3{,}03$	3
„ III	$8{,}61 \mp 0{,}43$	$-\ 8{,}5 \mp 1{,}61$	5
„ II	$8{,}60 \mp 0{,}32$	$-\ 15{,}0 \mp 1{,}56$	10
„ VI	$5{,}07 \mp 0{,}28$	$-\ 24{,}9 \mp 2{,}95$	8
„ V	$3{,}68 \mp 0{,}13$	$-\ 67{,}5 \mp 2{,}50$	27

so können wir zunächst sagen, daß sich die wahrscheinlichen Schwankungen innerhalb der zulässigen Grenzen bewegen und die Werte als sichergestellt gelten können. Je nach der Bedürftigkeit des Bodens an Phosphorsäure ist überall ein stetes Fallen der Beträge zu konstatieren, die Neubauer'sche Methode scheint hier zu einem gewissen Grade richtige Anhaltspunkte über den Vorrat dieses Nährstoffes in den verschiedenen Böden gegeben zu haben.

Zum Unterschiede von Neubauer hatten wir aber statt Roggen Hafer als Versuchspflanze gewählt, wir müssen dementsprechend prüfen, ob die dort gefundenen Werte auch für Hafer anwendbar sind. Neubauer sagt, ein Boden besitzt genügend Phosphorsäure, wenn wenigstens 8 mg aufgenommen werden. Diese Zahlen kommen nach unseren Versuchen für Hafer nicht in Frage; legen wir unsere Werte für die Beurteilung der Phosphorsäurebedürftigkeit unserer Böden zugrunde, dann müssen wir folgende Verhältnisse feststellen.

Boden I zeigte beim Vegetationsversuch keinen Mangel an Phosphorsäure, dementsprechend war auch die Menge der nach

[46]) Mehraufnahme an Phosphorsäure in mg nach Neubauer.
[47]) Minderertrag bei fehlender Phosphorsäuredüngung gegenüber Grunddüngung beim Gefäßversuch.
[48]) n-fache wahrscheinliche Schwankung.

dem Neubauer'schen Versuch aufgenommenen Phosphorsäure sehr groß, sie betrug 22,39 ± 0,45 mg je 100 g trockenen Bodens. Etwas weniger Phosphorsäure wurde bei Boden IV aufgenommen (14,44 ± 0,14 mg), was wiederum in Einklang mit dem Ergebnisse des Vegetationsversuches gebracht werden kann, der einen Mangel an diesem Nährstoff als wahrscheinlich erscheinen läßt. Gleich günstig gestalten sich die Resultate auf den Böden VI und V, die ein ausgesprochenes Bedürfnis nach P_2O_5 besitzen, wo also nur wenig P_2O_5 in die jungen Pflanzen aufgenommen werden konnte, am wenigsten beim Rosdorfer Boden (V), der auch den größten Bedarf an diesem Nährstoffe besitzt. Bis hierher wäre die Neubauer'sche Methode ganz einwandfrei, betrachten wir jedoch die beiden Böden III und II, von denen gesagt werden muß, daß ihr P_2O_5-Bedürfnis nach den Ergebnissen des Vegetationsversuches ein verschiedenes ist, so gibt uns der Befund nach Neubauer keine entsprechend differenzierten Anhaltspunkte, denn bei beiden Böden wurden aus je 100 g trockenen Bodens die gleichen Mengen P_2O_5 aufgenommen. Die Neubauer'sche Methode hat uns also nur gestattet, die Extreme bezüglich eines Mangels bezw. eines genügenden Vorrates dieses Nährstoffes im Boden zu erfassen, eine Grenze bezüglich P_2O_5-Bedürftigkeit resp. Nichtbedürftigkeit konnte nicht festgestellt werden. Die hier wiedergegebenen Werte beziehen sich, wie schon öfter betont worden ist, auf Hafer und wurden nur bei 6 verschiedenen Bodenarten festgestellt, sie können und sollen keineswegs als endgültige für ein abschließendes Urteil in der ganzen Frage bezeichnet werden.

Die Interpretierung des Salzsäureauszuges und die Ganssen'sche Theorie.

Bei der Gewinnung des Salzsäureauszuges wurde eigentlich von der Frage ausgegangen, ob die Methode nach Ganssen bezgl. ihrer Brauchbarkeit zur Feststellung des Nährstoffvorrates eines Bodens in Anwendung gebracht werden könne. Zu diesem Zwecke wurde der Boden in der eingangs beschriebenen Weise mit Salzsäure behandelt. Auf Grund der gefundenen Werte liegt es nahe, obwohl es nicht der eigentliche Zweck der Ausführung des Salzsäureauszuges war, denselben zunächst nach seinen durch ihn ermittelten gewichtsprozentischen Bodenbestandteilen einer Beurteilung zu unterziehen. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden vornehmlich die von R. Heinrich[49]) und Liebscher[50]) aufgestellten Gehaltszahlen verwendet.

a) Die Phosphorsäurefrage: Phosphorsäure war in unseren Böden in folgenden Prozentzahlen vorhanden:

---

[49]) R. Heinrich-Nolte, Dünger und Düngen, 8. A., S. 140.
[50]) J. König, Untersuchung Ldw. und ldw. gew. wichtiger Stoffe, 5. Aufl.,

I	II	III	IV	V	VI
0,18%	0,21%	0,48%	0,42%	0,15%	0,27%

Nach Liebscher ist der Gehalt eines Bodens an Phosphorsäure bei 0,07% gering, bei 0,07—0,085% mittel, bei 0,085—0,1% befriedigend und bei 0,1 — 0,2% gut. Demnach wären hier phosphorsäurereiche Böden, die kaum einer Zufuhr dieses Nährstoffes bedürfen, und benützen wir die von Heinrich aufgestellten Grenzwerte, dann wäre Boden I reich, d. h. kaum noch ersatzbedürftig für Phosphorsäure, V gut, d. h. knapp ersatzbedürftig, alle anderen Böden dagegen ohne Phosphorsäurebedürfnis. Es gilt hier jedoch, noch andere Faktoren zu berücksichtigen, denn wir wissen, daß die Gegenwart des Kalkes und der organischen Substanz die Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden beeinflußt, und daß ferner ein hoher Gehalt an Eisenoxyd und Tonerde zur Bildung schwerlöslicher Phosphate führt und das „Zurückgehen" der Phosphorsäure bewirkt. Ein Verhältnis der $P_2O_5 : Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 1 : 40$ ist sehr günstig, von 1 : 40 bis 60 günstig, von 1 : 60 bis 90 ungünstig und darüber hinaus sehr schlecht. Die aus unseren Analysen zu entnehmenden Werte lassen folgende Verhältnisse erkennen:

Boden I: $P_2O_5 : Al_2O_3 + Fe_2O_3 = 1 : 30$,
Boden II: $= 1 : 19$,
Boden III: $= 1 : 11$,
Boden IV: $= 1 : 16$,
Boden V: $= 1 : 32$,
Boden VI: $= 1 : 33$.

Daraus geht deutlich hervor, daß nach Liebscher alle hier verwendeten Bodenarten, von denen keine das Verhältnis von 1 : 33 übersteigt, bezgl. ihres Phosphorsäurevorrates recht günstig gestellt sind. Unter Berücksichtigung dieses und des vorher Gesagten müssen wir mit Bezug auf das Ergebnis des Gefäßversuches zu einem anderen Urteil gelangen: Nur der Boden I paßt sich dem im Salzsäureauszug gefundenen Werte an, alle übrigen Böden liefern das entgegengesetzte Resultat.

b) Die Kalifrage: Der Salzsäureauszug ergab folgende prozentische Mengenverhältnisse an Kali:

I	II	III	IV	V	VI
0,47%	0,26%	0,35%	0,47%	0,51%	0,52%

Nach Liebscher liegt starke Kalibedürftigkeit vor, wenn der Prozentgehalt unter 0,15% sinkt, geringer Kalimangel besteht bei 0,2 — 0,4%, darüber hinaus ist eine Kalizufuhr nicht mehr nötig. Danach zu urteilen, hätte Boden II einen geringen und Boden III

einen noch geringeren Bedarf an Kali, alle übrigen Böden sind genügend mit diesem Nährstoff versehen. Dieses Ergebnis paßt sich nicht ganz dem Befunde unseres Vegetationsversuches an, stimmt aber damit überein, wenn wir die von R. Heinrich ermittelten Kaliwerte benützen:

Dann ergibt der Salzsäureauszug das gleiche Resultat wie der Gefäßversuch, d. h. also, eine Kalidüngung braucht nicht vorgenommen zu werden.

c) Der Kalkgehalt der Böden ergab folgende Prozentzahlen

I	II	III	IV	V	VI
1,35%	0,84%	3,97%	2,36%	1,66%	8,15%

Im allgemeinen verlangt ein schwerer Boden mehr Kalk als ein leichter, bei unseren Untersuchungen handelt es sich fast durchwegs um schwerere Bodenarten und bringen wir die hierfür aufgestellten Grenzzahlen in Anwendung[51]), so müssen wir bei allen Böden mit Ausnahme eines einzigen einen großen Kalkvorrat verzeichnen. Dies deckt sich nur in teilweisem Ausmaße mit dem Topfversuch, bei welchem außer Boden II auch noch III eine geringe Mobilmachung der Bodennährstoffe bewirkte, sofern wir ihnen Kalk zuführten. Jedenfalls war der Salzsäureauszug nicht imstande, uns ein klares Bild über den Kalkvorrat und eine zu vermutende Kalkwirkung zu geben.

Die Ganssen'sche Theorie: Ganssen[52]) sagt, daß die Fruchtbarkeit eines Bodens bei Zuhilfenahme des mit einer konzentrierten Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,15 enthaltenen Bodenauszuges nicht nur nach den darin gefundenen gewichtsprozentischen Bodenbestandteilen, sondern besonders nach der Beschaffenheit und Menge der durch die Salzsäure zersetzlichen tonerdesilikatischen kolloiden Bodenanteile beurteilt werden müsse. Neben eigenen Untersuchungen stützt er seine Theorie auch auf die Erfahrungen, welche I. M. van Bemmelen[53]) bei seinen Bodenuntersuchungen gemacht hat und außerdem darauf, daß er bei seinen Umrechnungen der Bodenanalysen verschiedener deutscher und ausländischer Forscher aus dem molekularen Verhältnis einen gewissen Zusammenhang zwischen Fruchtbarkeit eines Bodens und Beschaffenheit des sogen. Kolloidtons fand. Er hält die Tonerde für denjenigen Bestandteil des Tons, der den mehr oder weniger gesättigten bezw. ungesättigten und damit basischen oder neutralen bezw. sauren Zustand eines Bodens zu charakterisieren imstande ist.

---

[51]) M. Heinrich u. O. Nolte, Dünger u. Düngen, 8. A., S. 140.

[52]) Jahrb. d. Preuß. geol. Landesanstalt, 1914, Bd. 35, Heft 2, S. 219—255, Int. Mitt. f. Bodenkunde, 1920, Bd. 10, Heft 5—6, S. 186—196, Mitt. a. d. Labor. d. Preuß. geol. Landesanstalt, 1920, Heft 1.

[53]) I. M. van Bemmelen, „Die Absorption", 1910, S. 84—144.

Mit den Worten „sauer", basisch" und „neutral" meint Ganssen ein saures, basisches oder neutrales Molekularverhältnis bestimmter Bodenbestandteile untereinander, diese Bezeichnung ist wohl nicht identisch mit der Bodenreaktion. Er fand bei fruchtbaren Böden das sogen. neutrale, absorptiv gesättigte Verhältnis von 3 Mol. SiO_3 : 1 Mol. Al_2O_3 : 1 Mol. Gesamtbasen.

Hierbei sind jedoch immer auf 1 Mol. Al_2O_3 mindestens 3 Mol. SiO_2 zu nehmen; sind aber weniger als 3 Mol. SiO_2 vorhanden, dann müssen gewisse Umrechnungen, auf welche hier nicht näher eingegangen werden soll, und die aus unseren folgenden Berechnungen ersichtlich sind, vorgenommen werden. Unter Basen faßt er KOH, NaOH, $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ und NH_4OH zusammen. Bei den Böden mit neutralem Molekularverhältnis besteht ein lebhafter Basenaustausch zwischen den kolloiden Bodenanteilen und der Bodenlösung, was zu einer günstigen Ernährung der Pflanzen führt.

Ein saures, absorptiv ungesättigtes Molekularverhältnis besteht dann, wenn sich $SiO_2 : Al_2O_3 :$ Gesamtbasen $= 3^- : 1 : <1$ verhalten. Auch hier, und ebenso bei dem folgenden basischen Molekularverhältnis müssen, um richtige Schlüsse ziehen zu können, mindestens 3 Mol. Kieselsäure auf 1 Mol. Tonerde entfallen, andernfalls ist eine Umrechnung nötig, um zu diesem Verhältnis zu gelangen. Solch saure Böden sind absorptiv ungesättigt, und infolge des Mangels an Basen unfruchtbar. Die vorhandenen geringen Basenmengen werden absorbiert, die Nährsalze zersetzt und aus dem Boden entfernt. Der Basenaustausch ist außerordentlich gering, und die geringen Mengen absorbierter Basen können nicht in die Bodenlösung übertreten, den Pflanzen stehen somit wenig Nährstoffe zur Verfügung, die bei lebhaftem Austausch der Basen mobil gemacht würden, wie wir dies bei den fruchtbaren Böden finden. Besonders zu berücksichtigen ist in diesem Falle die wasserlösliche, einbasische Phosphorsäure des Superphosphats, dessen Kalzium in den kolloiden Komplex übergeht, dessen Anion aber mit dem Eisen- und Aluminiumoxyd unlösliche Fe- bezw. Al-Phosphate bildet. Das alkalische Molekularverhältnis lautet: $3^- : 1 : >1$. Obwohl hier größere Mengen an Basen und damit auch an Pflanzennährstoffen vorhanden sind, sei der Boden nicht fruchtbar, denn die alkalische Beschaffenheit rufe die seit langem bekannte, schädigende Wirkung auf die Kulturpflanzen hervor und müsse beseitigt werden, damit solche Böden fruchtbar werden. Ganssen[54]) führt hier einen neuen Begriff ein, er spricht von einer Ueberschuß-Alkalität, die je nach den molekularen Mengenverhältnissen aus einer Alkali- bezw. Erdalkaliüberschußalkalität besteht. Besonders der Alkaliüberschußalkalität schreibt er es zu, daß sie mit ihrem stark basischen Charakter eine ungünstige Wirkung auf die Pflanzen habe, und

[54]) Int. nat. Mit. f. Bodenkunde, 1924, Bd. XIV, H. 1—2, S. 55—72.

daß diese nichtabsorbierten, in der Nährlösung befindlichen Basen von Kalium und Natrium, den Pflanzenertrag herabdrücken. Sichere Anhaltspunkte hinsichtlich des Nährstoffbedarfes der Böden mit basischem Molekularverhältnis sind erst dann gegeben, wenn die Überschußalkalität beseitigt worden ist, und hierüber gibt nach Ganssen das Molekularverhältnis ebenfalls genügend Aufschluß; es ermöglicht die Feststellung, ob die schädigende Wirkung der Überschußalkalität den Alkalien oder den Erdalkalien zuzuschreiben ist. Der Mangel an Azidität werde voraussichtlich am besten durch „Zufuhr tonerdehydratreicher oder saurer Al_2O_3 und SiO_2-hydrathaltiger Böden[55]) behoben werden können, besonders die Flottlehme erscheinen ihm für diese Zwecke geeignet; hierdurch entständen wasserunlösliche, zeolithische Alkaliverbindungen, desgleichen würden die Säuren der anorganischen Alkalisalze, z. B. die Schwefelsäure in basische, unlösliche Aluminium- und Eisensalze umgewandelt.[56])

Soweit in Kürze über die drei verschiedenen Molekularverhältnisse. Neuerdings zieht Ganssen[57]) auch den Humusgehalt, sowie die Titrationsazidität in den Kreis seiner Betrachtungen, die angestellten Untersuchungen führen ihn zu folgendem Schluß:

1. Daß hauptsächlich die gemengten Gele der Kieselsäure und der Tonerde die feste Absorption der Basen an diese Gele bewirke. Je höher der Gehalt eines Bodens an diesem Gelgemisch, desto größer die absorbierten Basenmengen. Für Humus treffe eine derartige Gesetzmäßigkeit nicht zu, woraus zu schließen sei, daß der Humus die Basen nur in geringen Mengen und außerdem auch schwach binde.

2. Daß Titrationsazidität und saures Molekularverhältnis Hand in Hand gehen, die P_H-Bestimmung müsse aber mit „naturfeuchtem“ Boden geschehen.

3. Die P_H der Böden mit überschüssigem alkalischen Verhältnis müsse ganz besonders mit „naturfeuchtem“ Boden vorgenommen werden, durch Aufbewahren des Bodens in trockenem Zustand wird die Wasserlöslichkeit der Ueberschußalkalität und damit die Wasserstoffionenkonzentration herabgesetzt, der hohe Gehalt an „löslicher“ Kieselsäure führt zur Bildung von zeolithischen, schwer löslichen Gelen.

Die letzten Mitteilungen Ganssen's konnten wir leider nicht mehr verwerten, es standen uns keine genügenden Mengen „naturfeuchten“ Bodens zur Verfügung. Wir beschränken uns daher auf das früher von ihm veröffentlichte, und wollen nachstehend gleich mit Boden I zeigen, wie die gewichtsprozentischen Bodenanteile auf das Molekularverhältnis umgerechnet und ausgewertet werden, die folgenden Böden II—VI geben dann nur die in gleicher Weise erhaltenen Endresultate wieder.

---

[55]) Desgl., S. 72.
[56]) Int. nat. Mitt. f. Bodenkunde, 1924, Bd. XIV, H. 1—2, S. 72.
[57]) Desgl., Bd. XIV, S. 158—172.

Boden I:

	%	von CaO abzuziehende Aequivalent %		Molekularzahl	
SiO_2	4,34	—		0,0719	
Al_2O_3	2,77	—		0,0271	
MgO	0,26	—		0,0064	
CaO	2,35 —	1,30 = 1,05		0,0187	0,0348
K_2O	0,47	—		0,0050	
Na_2O	0,29	—		0,0047	
P_2O_5	0,18	0,21	1,30	—	
SO_3	0,11	0,08		—	
CO_2	0,79	1,01		—	
Fe_2O_3	2,56	—		—	

Berechnung der Aequivalentprozente:

$$3\ CaO : P_2O_5 = 168{,}21 : 142{,}08 = x_1 : 0{,}18$$
$$CaO : SO_3 = 56{,}07 : 80{,}06 = x_2 : 0{,}11$$
$$CaO : CO_2 = 56{,}07 : 44{,}005 = x_3 : 0{,}79$$
$$x_1 + x_2 + x_3 = 1{,}30$$

Molekularverhältnis:

$SiO_2 : Al_2O_3$: Basen = 0,0719 : 0,0271 : 0,0348, auf 1 Al_2O_3 umgerechnet: = 2,65 : 1 : 1,28,

In diesem Falle sind weniger als 3 Mol. Kieselsäure auf 1 Mol. Tonerde vorhanden, infolgedessen kann nach Ganssen die nicht durch 3 Mol. Kieselsäure gebundene Tonerde nicht 1 Mol. Base binden; schalten wir nun diejenige Tonerde aus, die keine Bindung durch 3 Mol. Kieselsäure erfährt und somit auch keine Bindung gegen die Basen auszuüben vermag, so erhalten wir:

$$2{,}65\ SiO_2 : \frac{2{,}65}{3}\ Al_2O_3 : 1{,}28 \text{ Basen oder}$$

$$Al_2O_3 = 1 \text{ gesetzt } \frac{2{,}65}{2{,}65} \cdot 3 : \frac{2{,}65 \cdot 3}{3 \cdot 2{,}65} : \frac{128 \cdot 3}{2{,}65}$$
$$3 : 1 : 1{,}453$$

Dieses Verhältnis zeigt, daß der Boden eine Ueberschußalkalität besitzt, also basisch ist. Die 0,453 betragende Ueberschußalkalität muß nun bezüglich der Art der Alkalität, d. h., ob sie mehr eine Alkali- oder Erdalkaliüberschußalkalität ist, aufgeteilt werden, wobei folgendermaßen verfahren wurde:

Das Molekularverhältnis lautete:

1. nicht korrigiert: 2,65 SiO_2 : 1 Al_2O_3 : 1,28 Basen,
2. korrigiert: 3 „ : 1 „ : 1,453 „

Bei nicht korrigiertem Mol. Verhältnis entfallen (1 Mol. Al_2O_3) auf 1,28 Gesamtbasen

0,69	CaO
0,24	MgO
0,18	K_2O
0,17	Na_2O
1,28	Gesamtbasen

Bei korrigiertem Mol. Verhältnis entfallen (1 Mol. Al_2O_3) auf 1,45 Gesamtbasen	0,78 CaO 0,27 MgO 0,21 K_2O 0,19 Na_2O	
	1,45 Gesamtbasen	
Auf 0,453 Ueberschußalkalität entfallen bei 1 Mo. Al_2O_3	0,24 CaO 0,09 MgO	0,33 Erdalkal.
	0,06 K_2O 0,06 Na_2O	0,12 Alkalien
	0,45 Basenüberschuß	

In der gleichen Weise wurde auch die Ueberschußalkalität bei den anderen Böden berechnet und aufgeteilt. Bei Boden I besteht also die Ueberschußalkalität aus 0,12 Alkali- und 0,33 Erdalkaliüberschußalkalität, mit anderen Worten, die Alkalien sind daran mit 28% und die Erdalkalien mit 72% beteiligt. Werden die beim Vegetationsversuch gefundenen Resultate berücksichtigt, so ist darauf hinzuweisen, daß Boden I nur einen großen Stickstoffmangel aufweist, alle anderen Pflanzennährstoffe waren in genügender Menge im Boden vorhanden. Auf den Stickstoff hat Ganssen seine Umrechnung noch nicht angewendet, wir müssen uns daher bezgl. der gefundenen Werte auf die Phosphorsäure, das Kalium und Kalzium beschränken, an welchen Nährstoffen, wie bereits erwähnt, der Boden von Geismar keinen Mangel aufweist. Stellen wir bei der Ueberschußalkalität den hohen Prozentsatz an überschüssigem Kalzium und Magnesium in Rechnung, dann gelingt es uns allerdings, einigermaßen übereinstimmend mit Ganssen zu dem gleichen Resultat zu gelangen und die hinreichende Menge an Pflanzennährstoffen außer Stickstoff festzustellen.

Der Boden II ist ebenfalls basisch, sein Molekularverhältnis lautet 3,14 : 1 : 2, die Ueberschußalkalität beträgt 1, ist also noch größer als beim vorher besprochenen Boden. Die Verteilung dieses Ueberschusses gestaltet sich derart, daß auch hier wieder der größere Prozentsatz mit 85 auf die Erdalkalien entfällt, während Kalium und Natrium nur mit 15% daran beteiligt sind. Läßt man auch hier wieder die Ansicht Ganssen's gelten, was in Anbetracht des hohen Ueberschusses an Alkalität schon nicht mehr zulässig erscheint, so finden wir im Vergleich zum Gefäßversuch keinen rechten Zusammenhang, da dort, abgesehen vom Mangel an Stickstoff, eine Phosphorsäurebedürftigkeit dieses Bodens vorgefunden wurde, die nach den Darlegungen Ganssen's nicht vorhanden sein sollte und die schließlich damit erklärt werden könnte, daß die großen, nicht an die austauschfähigen Körper gebundenen Mengen an überschüssigem Kalzium mit der Phosphorsäure das schwer lösliche und den Pflanzen nicht zugängliche Kalziumphosphat bildeten. Gleiches hätte mit einiger Berechtigung auch beim vorher besprochenen Boden gesagt werden können und doch findet man dort das gerade Gegenteil, dort ist ebenfalls viel Kalzium, dort besteht ebenfalls die Bildung von unlöslichem Phosphat

und dennoch macht sich kein Phosphormangel geltend. Oder sollte es vielleicht gar der hohe Eisen- und Aluminiumgehalt sein? Ein Blick auf die Tabelle S. 197 lehrt uns, daß hierdurch die Verhältnisse nur noch mehr zu Ungunsten der Ganssen'schen Theorie sprechen.

Die Ueberschußalkalität steigt weiter bei Boden III, die molekularen und korrigierten Verhältnisse lauten 3 : 1 : 2,93. Wir haben hier eine Ueberschußalkalität von 1,93, die zum weitaus größten Teil wieder auf das Konto des Kalziums geschrieben werden muß, und die auch hier wieder imstande wäre, die Phosphorsäure in einen nicht sofort nutzbaren Zustand überzuführen. Was sagt uns demgegenüber der Gefäßversuch? Geringer Phosphormangel, auch Stickstoff fehlt, doch kommt dieser Faktor nicht in Frage. Es hat zunächst den Anschein, als bestände in diesem Falle die Ganssen'sche Theorie zu Recht, da eben infolge des hohen Kalziumsgehaltes eine vollständige Absorption an dem kolloiden Komplex nicht stattfinden konnte, die freien Kalziumionen gingen mit der Phosphorsäure in unlösliches Phosphat über. Demgegenüber bewirkte aber beim Gefäßversuch eine Kalkgabe, obwohl genügende Mengen dieses Nährstoffes vorhanden waren, eine Mobilisation der übrigen Nährstoffe im Boden, was auch dadurch zum Ausdruck gebracht wird, daß neben einer geringen, jedoch reichlich sichergestellten Ertragssteigerung an Erntetrockensubstanz (bei bloßer Kalkgabe) eine prozentische Steigerung des P_2O_5-Gehaltes von 0,68% (ungedüngt) auf 0,71% (mit Kalk) eintrat. Auch hier gelangt man zu dem gleichen wie vorhin ausgesprochenen Urteil, zudem hält sich auch die Menge des salzsäurelöslichen Eisens und Aluminiums in gleicher Höhe wie bei Boden I und II.

Die Molekularverhältnisse der Boden IV—VI lauten:

3,03 : 1 : 1,53 (Boden IV)
3,65 : 1 : 1,40 (Boden V)
3,00 : 1 : 1,85 (Boden VI)

Man erkennt, daß diesen Böden eine Ueberschußalkalität anhaftet, daß sie also ein basisches Molekularverhältnis aufweisen und demnach nach der Theorie von Ganssen nicht ohne weiteres zu den fruchtbaren Böden gezählt werden dürfen. Der Ueberschuß an Alkalität ist zum weitaus größten Teile dem Kalzium und Magnesium zuzuschreiben. Wie verhalten sich unsere Böden gegenüber den Gefäßversuchen? Der Reinhausener Tonboden muß als nicht Kali- und wenig Phosphorsäure-bedürftig bezeichnet werden. Nach Ganssen würde man den wahren Charakter eines mit einer Ueberschußalkalität behafteten Bodens erst dann erkennen, wenn diese überschüssige Basizität durch die Zufuhr azid wirkender Stoffe beseitigt worden ist, in diesem Falle wäre der Boden dann vielleicht überhaupt ohne Bedürfnis nach mineralischen Nährstoffen. Das Kalium wurde unseren Gefäßen in Form von Kaliumsulfat gegeben, in diesem Falle wurden dem Boden tatsächlich azid wirkende SO_4-Ionen zugeführt, welche dem alkalischen Charakter des Bodens entgegenwirken konnten.

was aber wiederum nicht den ausgesprochenen Vermutungen entspricht, denn nirgends konnte eine solche Wirkung festgestellt werden. Nach Ganssen würde die im Gegenteil bei Kaligabe auf den Gefäßen Nr. 7—9 und 10—12 eingetretene Verminderung an Erntetrockensubstanz damit zu erklären sein, daß das Kali den Boden bezgl. seiner physikalischen Struktur weiter verschlechterte und die Ausnutzung der vorhandenen Nährstoffe nicht gestattete. Außer bei IV ist die Ertragsverminderung auch auf den Gefäßen Nr. 7—9 und 10—12 der Böden V und VI zu sehen, sie kommt besonders bei letzterem kraß zum Ausdruck. Der Reinhausener Boden verzeichnet bei einer Kalkgabe eine geringe Ertragssteigerung, nach Ganssen sollte der Kalk den basischen Charakter des Bodens noch weiter verstärken und weiter deprimierend auf die Ernte wirken, weil er mobile Nährstoffe bindet und den Pflanzen nicht zugänglich macht. Diesem Umstande tragen die Böden V und VI einigermaßen Rechnung, dort rief die Kalkgabe tatsächlich eine Erntedepression hervor, die jedoch unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Schwankungen nicht sicher gestellt ist, wobei aber zugegeben werden muß, daß der alkalische Zustand des Bodens verstärkt wurde. Keinesfalls ist die Alkalität aber eine derartige, daß der Gefäßversuch nicht richtig gedeutet werden könnte, besonders in Hinsicht auf den Rosdorfer Boden (V), der einen außerordentlich großen Phosphorsäuremangel hat, und der auch auf VI sichergestellt ist. Demgegenüber kann auch angeführt werden, daß die beiden letzten Böden bei fehlendem Kali und damit fehlendem $SO_4^{\cdot\cdot}$ sogar eine geringe Ertragssteigerung erkennen lassen, obwohl gerade die Zufuhr azid wirkender Stoffe, die in diesem Falle fehlen, die Ernte vergrößern sollten. Die Ganssen'sche Theorie gestattete bei unseren Versuchen nicht, diejenigen Resultate zu erzielen, welche uns der exakt durchgeführte Vegetationsversuch untrügerisch zu liefern vermochte. Die Ergebnisse waren noch ungünstiger als diejenigen, die seinerzeit von Tacke und Arnd[58]), die bei ihren Untersuchungen Marschböden verwendeten, gefunden worden sind. Bei 7 dieser Böden, die sich beim Feldversuch als fruchtbar erwiesen hatten, konnte ein der Ganssen'schen Anschauung entsprechendes Molekularverhältnis von $Si_2O : Al_2O_3 : Basen = 3^+ : 1 : 1 — 1{,}2$ festgestellt werden, 6 andere Marschböden, die laut Analyse einen geringeren Gehalt an Ton aufwiesen, außerdem auch z. T. mit einer starken Ueberschußalkalität ausgestattet waren, konnten mit der Ganssen'schen Theorie nicht in Einklang gebracht werden.

Die relative Löslichkeit der Bodenphosphorsäure.

Im Anschluß hieran wurden, soweit verfügbare Bodenmengen vorhanden waren, Untersuchungen bezgl. der von O. Lemmermann vorgeschlagenen relativen Löslichkeit der Bodenphosphorsäure

[58]) Int. nat. Mitt. f. Bodenkunde, 1923, Bd. XIII, S. 6.

angestellt, zu deren näherem Verständnis auf die Originalarbeiten[59]) verwiesen wird. Hier soll nur das Wesen dieser Ansicht kurz besprochen werden. O. Lemmermann geht von der Erwägung aus, daß die Bodenanalyse allein nicht imstande ist, uns über den wahren Wert der in einem Boden vorhandenen und aufnehmbaren Phosphorsäure aufzuklären, dies erreichen wir aber in den meisten Fällen durch die Feststellung der relativen Löslichkeit der Bodenphosphorsäure, worunter das Verhältnis der durch eine 1prozentige Zitronensäure erhaltenen Phosphorsäuremenge zum Gesamtvorrat dieses Nährstoffes im Boden verstanden wird. Leider standen uns nur noch von 3 Bodenarten genügende Mengen für diese Untersuchungen zur Verfügung, ferner wurden für die Gesamtphosphorsäure diejenigen Werte eingesetzt, welche bei dem mit einer konzentrierten Salzsäure hergestellten Bodenauszuge erhalten wurden. Die durch 1prozentige Zitronensäure lösliche Phosphorsäure wurde wie bei Lemmermann bestimmt[60]).

Boden	% P_2O_5, gelöst durch 1%ige Zitronensäure		Mittel	% HCl-löslich P_2O_5 Mittel	Relative Löslichkeit	Ernteverminderung
I	0,061	0,054	0,058	0,18	32,2	— 8,7 ± 3,73
II	0,048	0,043	0,046	0,21	21,9	—15,0 ± 1,56
V	0,023	0,017	0,020	0,15	13,3	—67,5 ± 2,50

Schon an anderer Stelle wurde erwähnt, daß die durch den Salzsäureauszug erhaltenen Prozentzahlen an Phosphorsäure, verglichen mit den Ergebnissen des Gefäßversuches, keine brauchbaren Werte für die Beurteilung des für die Pflanzen leicht assimilierbaren Vorrates an Bodenphosphorsäure zu liefern imstande waren. Recht günstig stellen sich die Verhältnisse aber dann, wenn die relative Löslichkeit in Anwendung gebracht wird: Boden I war beim Gefäßversuch als nicht phosphorsäurebedürftig erkannt worden, er weist auch die größte relative Löslichkeit auf. Boden II hat einen Mangel an Phosphorsäure, obwohl dieser nicht so groß ist wie bei dem Rosdorfer Boden (V). Diesem Befunde passen sich die Zahlen für die relative Löslichkeit sehr gut an (Boden I mit 32, II mit 22 und V mit 13).

Je größer das Phosphorsäurebedürfnis, desto niedriger die relative Löslichkeit, ein Beweis für die Richtigkeit der Lemmermann'schen Ansicht.

Zusammenfassung:

1. Der Salzsäureauszug konnte uns bezüglich der Phosphorsäurefrage kein einwandfreies Bild über den Vorrat dieses Nähr-

[59]) O. Lemmermann u. Mitarb., Ldw. V.-St., Bd. 89, 1917, S. 81, Bd. 98, 1921, S. 155.

[60]) Dieselben, Ldw. V. St., Bd. 89, 1917, S. 107.

stoffes im Boden liefern. Lediglich der Gehalt der Böden an Kali, aber nur unter Verwendung der hierfür von R. Heinrich aufgestellten Grenzwerte, stand im Einklang mit den beim Gefäßversuch gefundenen Verhältnissen.

2. Der Versuch nach H. Neubauer und W. Schneider zeigte günstigere Ergebnisse, die hier gefundenen Werte deckten sich in ihren Extremen mit den beim Gefäßversuch erhaltenen Resultaten. Danach war der Phosphorsäuremangel sehr groß, wenn weniger als 4 mg Phosphorsäure je 100 g trockenen Bodens aufgenommen wurden, keine Bedürftigkeit nach diesem Nährstoffe bestand bei mehr als 14 mg aufgenommener P_2O_5. Eine Grenze bezüglich Bedürftigkeit resp. Nichtbedürftigkeit an P_2O_5 konnte jedoch nicht festgestellt werden, nur die Extreme ließen sich erfassen. In dieser Hinsicht steht die Neubauer'sche Methode mit dem Ausfall der Düngungsversuche nicht in Einklang.

Die Kalifrage konnte insofern nicht gelöst werden, als alle Böden von Haus aus reich mit diesem Nährstoff versorgt waren. Dementsprechend war die Feststellung einer Grenze, bei welcher der Kalimangel beginnt, nicht möglich, jedoch scheint festzustehen (Versuchspflanze Hafer), daß ein Kalibedürnis dann vorhanden ist, wenn bedeutend weniger als 24 mg K_2O aufgenommen werden.

Das Natrium: Kali war genügend vorhanden, daher war damit zu rechnen, daß nur sehr geringe Mengen des auch sonst im Hafer und den anderen Kulturpflanzen nur spärlich vertretenen Natriums aufgenommen werden dürften. Diese Ansicht deckt sich mit den auf Grund des Neubauer-Versuches erhaltenen Werten.

Kalzium und Magnesium: Die für das Kalzium gefundenen Größen ließen keine durchgehende Uebereinstimmung erkennen. Etwas günstiger gestalteten sich die Verhältnisse beim Magnesium. Die Pflanzen scheinen beim hohen Gehalt eines Bodens an diesem Nährstoff weitgehende Luxuskonsumption zu betreiben.

3. Die Analyse der Erntetrockensubstanz des Gefäßversuches konnte weder durch Aufstellung von Normalgehaltszahlen noch auch durch diejenige von Ertragskurven befriedigende Ergebnisse liefern. Jedoch deckten sich die Resultate bezgl. des mit der schon von Th. Pfeiffer vermuteten Ansicht, daß bei reichlichem Vorhandensein eines Nährstoffes weitgehende Luxuskonsumption eintritt, ohne daß dadurch die Menge Erntetrockensubstanz sonderlich vermehrt wird.

4. Der Gefäßversuch und die Ganssen'sche Theorie: Der Vegetationsversuch allein konnte uns über den richtigen Nährstoffvorrat der Böden orientieren, die von Ganssen vermutete Beziehung zwischen Molekularverhältnis der Bestandteile des Salzsäureauszuges und Düngebedürftigkeit eines Bodens ließ sich in keinem der untersuchten Fälle einwandfrei nachweisen. Vor allem hatten die Böden durchwegs genügende Mengen von Kalium und Kalzium; trotz ihres basischen Molekularverhältnisses waren aber 3 der Böden — abgesehen vom Stickstoff — als fruchtbar zu bezeichnen, bei 2 Böden bestand ein geringes und nur bei

einem Boden ein großes Bedürfnis nach Phosphorsäure. Nach unseren Ergebnissen zu urteilen, wären auch Böden mit basischem bezw. stark basischem Molekularverhältnis als fruchtbar anzusehen, ohne daß deren Ueberschußalkalität beseitigt werden müßte.

5. Die relative Löslichkeit der Bodenphosphorsäure klärte uns – in Uebereinstimmung mit den beim Vegetationsversuch gefundenen Resultaten und im Gegensatz zu den beim Salzsäureauszug festgestellten Verhältnissen — in recht günstiger Weise über den wahren Wert dieses Nährstoffes im Boden auf.

Göttingen, Mai 1925.